

**Diego Porpilha**

**PADRÃO MORFOLÓGICO E SONOGRÁFICO DA  
PLATAFORMA CONTINENTAL INTERNA ADJACENTE AO  
SETOR LESTE DA ILHA DE SANTA CATARINA.**

Dissertação submetida ao Programa de  
Pós Graduação em Geografia da  
Universidade Federal de Santa Catarina  
para obtenção do Grau de Mestre em  
Geografia.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Henrique  
da Fontoura Klein

**FLORIANÓPOLIS – SC, 2015**

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Porpilho, Diego

Padrão Morfológico e Sonográfico da Plataforma  
Continental Interna adjacente ao Setor Leste da Ilha de  
Santa Catarina / Diego Porpilho ; orientador, Antonio  
Henrique da Fontoura Klein - Florianópolis, SC, 2015.  
142 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Catarina, Centro de Filosofia e Ciências Humanas. Programa  
de Pós-Graduação em Geografia.

Inclui referências

1. Geografia. 2. Interferometria. 3. Plataforma  
Continental Interna. 4. Formas de Leito. 5. Transposição  
Sedimentar. I. da Fontoura Klein, Antonio Henrique. II.  
Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós  
Graduação em Geografia. III. Título.

Diego Fhelipe Porpilho da Silva


**Padrão morfológico e sonográfico da plataforma  
continental interna adjacente ao setor Leste da Ilha de  
Santa Catarina**

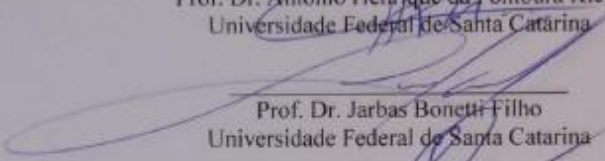
Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção  
do Título de “Mestre em Geografia”, e aprovada em sua  
forma final pelo Programa de Pós-graduação em Geografia.

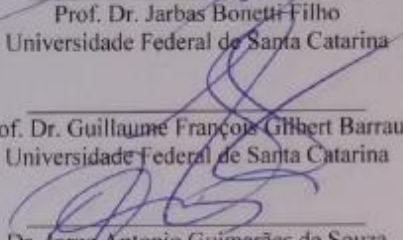
Florianópolis, 26 de agosto de 2015.

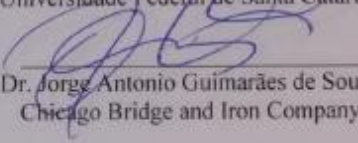
Prof. Dr. Aloysio Marthins de Araújo Junior  
Coordenador do PPGG/UFSC

**Banca Examinadora:**

  
Prof. Dr. Antonio Henrique da Fontoura Klein  
Universidade Federal de Santa Catarina

  
Prof. Dr. Jarbas Bonetti Filho  
Universidade Federal de Santa Catarina

  
Prof. Dr. Guillaume François Gilbert Barrault  
Universidade Federal de Santa Catarina

  
Dr. Jorge Antonio Guimarães de Souza  
Chicago Bridge and Iron Company





## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de agradecer em primeiro lugar a minha família, e também a Paula, pelo apoio incondicional.

Agradecer meu orientador, Antonio H. F. Klein, por todas as oportunidades, discussões, troca de conhecimento, por ter exigido o máximo sempre e também pela confiança.

O professor Andrew Short, pela disponibilidade e pelo conhecimento que foi passado.

Os amigos e colegas do Laboratório de Oceanografia Costeira (LOC) e todos os outros que sempre estiveram presente.

O PRH-PB240 por todo suporte ao longo de 2 anos.

O Ministério do Meio Ambiente por ter financiado o projeto MMA-RISCOS, possibilitando o desenvolvimento deste trabalho. A Companhia Catarinense de Águas e Saneamento (CASAN), pelo fornecimento dos dados de ADCP. Também a Secretaria de Desenvolvimento Sustentável de Santa Catarina (SDS) pelas imagens aerofotogramétricas, utilizadas como base nos mapas.



## RESUMO

Este trabalho apresenta resultados sobre o padrão morfológico e sonográfico da antepraia e plataforma continental interna, adjacente ao setor leste da Ilha de Florianópolis, entre o complexo praial Barra da Lagoa – Moçambique e a Ponta dos Ingleses. Uma área total de 18 Km<sup>2</sup> foi sondada, entre 3 e 25 m de profundidade, com 100% de sobreposição. Os dados foram aqusitados com um interferômetro EdgeTech 4600, 540 kHz, o qual forneceu imagens de sonar de varredura lateral, batimetria de varredura, bem como retroespalhamento. Através das imagens de sonar de varredura lateral (SVL) foi possível identificar a presença de diferentes tipos de refletores (sedimento) e suas feições associadas, bem como medir o comprimento das formas de leito e feições. Os resultados, sobre a composição do leito, foram validados utilizando os dados de retroespalhamento, bem como as classificações supervisionada e não supervisionada, além de amostras de sedimento obtidas *in situ*. A batimetria de varredura proporcionou informações sobre a morfologia e declividade da plataforma continental interna, além da altura e perfil das formas de leito e feições. No complexo praial Barra da Lagoa – Moçambique foi identificado feições denominadas *sorted bedforms*, que são depressões formadas por areia grossa e mal selecionada com a presença de marcas onduladas, adjacente a uma areia fina e bem selecionada. Estas depressões variaram entre 0,5 e 1 metro em relação ao leito e apresentaram largura entre 5 e 450 m, e comprimento entre 10 e 900 m, perpendiculares a linha de costa, caracterizando uma plataforma continental interna heterogênea, composta por areia grossa (1 mm) e areia fina (0.2 mm). Através das imagens de SVL e da batimetria de detalhe em frente a Ponta das Aranhas, identificou-se a presença de megaondulações, classificadas como assimétricas, catenárias com comprimento de onda entre 6 e 15 m e altura entre 0,5 e 1,2 m. Visto que a forma destas apresentou uma assimetria para norte, assim indicando um transporte de sedimento neste mesmo sentido, caracterizando uma transposição sedimentar (*sediment bypassing*) ao longo do promontório. Devido a este transporte para norte, foi observado um acúmulo de sedimento na parte central do promontório, sendo esta feição classificada como *shelf sand body* (SSB).

Na plataforma continental interna e antepaia do Santinho foi identificada uma sequência de formas de leito, que evoluiu de marcas onduladas simétricas, para assimétricas, sinuosas, então lunares e leito plano. As feições simétricas apresentaram comprimento de onda de 1 m, enquanto que as simétricas sinuosas, entre 1 e 1,5 m e as lunares, 2 e 5 m. Com a batimetria de varredura, foi possível observar que esta sequência teve seu início em 12 m de profundidade, indicando a provável profundidade de fechamento. A altura das marcas onduladas simétricas variou entre 0,05 e 0,15 m, das assimétricas sinuosas, 0,15 e 0,30 m e das lunares 0,25 e 0,50 m. O perfil das formas assimétricas apresentaram a maior inclinação em direção à costa, indicando a direção de migração destas feições. Esta sequência de formas de leito foi formada pela interação da assimetria do movimento orbital da onda com o leito, a qual aumenta à medida que a profundidade diminui. Em frente a Ponta dos Ingleses, através das imagens de SVL foi observada a presença de megaondulações tanto na parte central quanto norte. Estas apresentaram comprimento entre 5 e 12 m, altura variando entre 0,5 e 1 m e foram classificadas como assimétricas, catenárias. O perfil destas megaondulações indicam que estas migram em sentidos opostos, ou seja, as feições presentes na parte central do promontório, apresentaram a face com maior inclinação para norte, enquanto que as feições no norte do promontório, apresentaram a maior inclinação para oeste/sudoeste. Assim, através do perfil das megaondulações, foi possível notar a presença de correntes em sentidos opostos, as quais acabaram por gerar estas feições. Também foi observado que entre estas feições ocorre um acúmulo de sedimento, sendo a feição resultante deste acúmulo classificada como SSB.

**Palavras Chave:** Sonar de Varredura Lateral; Batimetria; Retroespalhamento; Marcas Onduladas; *Sorted Bedforms*; Transposição Sedimentar; *Shelf Sand Body*.

## ABSTRACT

This study investigates the shoreface and inner continental shelf morphology and seafloor geoaoustics pattern adjacent to the eastern sector of Florianópolis Island, between Barra da Lagoa – Moçambique beaches and Ingleses headland. An 18 km<sup>2</sup> area was surveyed, between 3 to 25 m depth with 100% of coverage. The data was acquired with an interferometer EdgeTech 4600, 540 kHz, which provided side scan sonar images, swath bathymetry and backscatter. Through side scan images it was possible to identify different sediment types and associated features, as well to compute the length of those bedforms and features. The seafloor patterns were validated with backscatter data, as well with supervised and unsupervised classification and sediment samples. Swath bathymetry provided information about morphology and inner continental shelf slope, together with bedforms shape and elevation. At Barra da Lagoa – Moçambique beach, sorted bedforms were identified, which consist of depressions containing rippled coarse sand surrounded by well sorted fine sand. These features varies from 0,5 to 1,0 m in relief, 5 to 450 m wide and 10 to 900 m long, and are shoreline perpendicular, characterizing an heterogeneous inner continental shelf, composed by coarse sand (1 mm) and fine sand (0,2 mm). Side scan images and swath bathymetry was used to identify megaripples in front of Aranhas headland, classified as asymmetrical, catenary with wavelength in the order of 6 to 15 m and height between 0.5 to 1.2 m. Its profile presented a steeper lee angle, which reflects a northward bedload transport, an indicative of northerly headland sand bypassing. This northward sand transport has resulted in sediment accumulation along the central section of the promontory, and was classified as shelf sand body (SSB). The Santinho inner continental shelf and shoreface contained a shoreward bedform sequence that evolved from symmetrical ripples, to asymmetrical, long crested than to lunate ripples and finally to a flat bed near the breaker zone. The symmetrical ripples presented wavelength in the order of 1 m, while the long crested between 1 to 1.5 m and the lunate, 2 to 5 m. Swath bathymetry revealed that this sequence started around 12 m depth, indicating the possible closure depth. The height of the symmetrical ripples varied between

0.05 to 0.15 m, while the asymmetrical long crested, 0.15 to 0.30 m and the lunate ones, 0.25 to 0.50 m. The asymmetrical bedforms has a steeper angle shoreward, indicating the direction of migration. This bedform sequence is a result of the interaction of the wave orbital asymmetry with the seafloor, which increases as depth decreases. In front of Ingleses headland, side scan images showed megaripples in the central and southern section, with wavelength between 5 to 12 m and height in the order of 0.5 to 1 m, being classified as asymmetrical, catenary. The profile of the megaripples indicates that they migrate in opposite direction, it means, the bedforms in the central section presented a steeper angle northward, while the features in the northern section presented the steeper angle southward. Based on the profile of the megaripples, it was possible to notice the presence of currents in opposite directions, which may have generated those megaripples. Also, it was observed that between those opposing megaripples field a sediment accumulation is occurring, and also was classified as shelf sand body (SSB).

**Key Words:** Side Scan Sonar; Swath Bathymetry; Ripples; Sorted Bedforms; Sediment Bypassing; Shelf Sand Body.

## LISTAS DE FIGURAS

Figura 1: Área de estudo e localização do ADCP. (Imagens Aéreas: Secretaria de Desenvolvimento Sustentável de Santa Catarina). .....	27
Figura 2: Caracterização sedimentológica do setor leste da Ilha da de Santa Catarina. Modificado de PGGM (2010). .....	28
Figura 3: Dados ADCP. (A) Série de dados; (B) Frequência acumulada da corrente próxima ao leito. (C) Frequência de ocorrência acumulada da corrente próxima ao leito; (D) Direções da corrente demonstrando as correntes para norte em vermelho e para sul, em preto. Modificado de Porpilho <i>et al.</i> (2015). .....	29
Figura 4: Zonação hidrodinâmica da plataforma continental. Modificada de Razak (2015). .....	30
Figura 5: Relação entre tamanho de grão, velocidade de corrente e tipos de formas de leito. Adaptado de Lewis 1984. ....	36
Figura 6: Sequência de formas de leito identificadas na antepraia. Modificado de Short, 1999. ....	39
Figura 7: Exemplo interferômetro EdgeTech® 4600 - 540 kHz. Adaptado de Manual EDGETECH 4600 (2012). ....	44
Figura 8: Relação entre retroespalhamento e tamanho de grão. Adaptado de Weber (2015). ....	45
Figura 9: Movimentos associados à embarcação. Adaptado do manual SMC-108 (2010). ....	46
Figura 10: Teste de latência. Adaptado de Hypack® 2013. ....	47
Figura 11: Teste <i>pitch</i> . Adaptado de Hypack 2013. ....	48
Figura 12: Teste roll. Adaptado de Hypack 2013 training notes. ....	49
Figura 13: Teste yaw. Adaptado de Hypack 2013 training notes. ....	49
Figura 14: Matriz de Coocorrência de Níveis de Cinza (GLCM). Adaptado de The Glcm Tutorial. ....	51
Figura 15: Amostrador de sedimento to tipo Van Veen, bem como o sedimento coletado. ....	53
Figura 16: (A) Receptores DGPS/Heading; (B) <i>Top Side</i> e computador; (C) Telas de aquisição; (D) Interferômetro e antenas Novatel. Fonte: Autor. ....	54
Figura 17: Fluxograma do processamento interno de aquisição de dados do interferômetro EdgeTech 4600. Modificado de Manual EdgeTech 4600. ....	55

Figura 18: Demonstração das medidas dos <i>off-sets</i> . Adaptado de: Normam 25, apêndice J.....	56
Figura 19: (A) Dados sem <i>patch test</i> ; (B) Dados corrigidos com <i>patch test</i> .....	56
Figura 20: Espaçamento entre linhas, 3-4 vezes a profundidade. ....	57
Figura 21: Total de dados aquisitados. (A) dados sonográficos; (B) dados batimétricos. ....	57
Figura 22: Fluxograma para processamento de imagens de sonar de varredura lateral (SVL). Modificado do manual do SonarWiz.....	58
Figura 23: (A) Imagem com coluna d'água (sem <i>bottom track</i> ); (B) Imagem sem coluna d'água (com <i>bottom track</i> ).....	59
Figura 24: Parâmetros estatísticos selecionados para classificação das imagens de SVL.....	60
Figura 25: Amostras de treinamento em ordem crescente do topo para base. ....	61
Figura 26: Classes geradas pelos descritores, sendo correlação, entropia e momento invariante de 3° ordem os descritores que apresentaram o maior poder de distinção entre classes. ....	62
Figura 27: Fluxogramas para classificação das formas de leito.....	64
Figura 28: Catálogo elaborado para auxiliar na identificação das formas de leito. Adaptado de <a href="http://www.brocku.ca/sedimentology/SedNotes/Chap5">http://www.brocku.ca/sedimentology/SedNotes/Chap5</a> . (*) Feições identificadas pelo autor, presentes na área de estudo.....	66
Figura 29: (A) Altura; (B) Comprimento.....	66
Figura 30: Fluxograma do processamento de dados batimétricos. Adaptado de Hypack® 2013 training notes. ....	67
Figura 31: (A) Exemplo de um perfil de velocidade do som na água; (B) Exemplo de variação de maré ao longo de 5 dias. ....	67
Figura 32: Perfis batimétricos demonstrando os dados espúrios, bem como o maior ruído associados ao nadir e a extremidade do feixe.....	68
Figura 33: Sonografia para o complexo praial Barra da Lagoa - Moçambique, mostrando a presença da RSD ou SB e pontos de coleta de sedimento. Onde alto reflete um retorno acústico mais intenso e baixo, um retorno acústico menos intenso. (Imagens Aéreas: Secretaria de Desenvolvimento Sustentável de Santa Catarina).....	70
Figura 34: Histograma amostras de sedimento. ....	72



Figura 35: Relação entre tamanho da partícula, contraste da imagem e formas de leito. Aumento na ordem de 20X. Modificado de Porpilho <i>et al.</i> (2014). .....	72
Figura 36: (A) Marcas onduladas dentro da depressão; (B) Marcas onduladas fora da depressão. ....	73
Figura 37: Seção vertical do pós-praia do complexo praiar Barra da Lagoa - Moçambique, mostrando a presença de sedimento fino, grosso e minerais pesados, de cima para baixo, indicando a presença de uma composição bimodal. Fonte: Autor. ....	76
Figura 38: Retroespalhamento para Barra da Lagoa - Moçambique, mostrando a presença de diferentes tipos de substrato, areia grossa e fina. Onde alto reflete um retorno acústico mais intenso e baixo, um retorno acústico menos intenso. (Imagens Aéreas: Secretaria de Desenvolvimento Sustentável de Santa Catarina). ....	77
Figura 39: (A) Classificação supervisionada; (B) Classificação não supervisionada. (Imagens Aéreas: Secretaria de Desenvolvimento Sustentável de Santa Catarina). ....	79
Figura 40: Batimetria de detalhe para o complexo praiar Barra da Lagoa - Moçambique. (A) e (B) demonstram em detalhe as depressões associadas à feição <i>SB</i> . (Imagens Aéreas: Secretaria de Desenvolvimento Sustentável de Santa Catarina). ....	81
Figura 41: Perfis ao longo da costa da feição <i>Sorted Bedform</i> mostrando o lado mais íngreme e profundo no sentido da corrente mais intensa. ..	82
Figura 42: Perfis perpendiculares à linha de costa e suas respectivas declividades. ....	84
Figura 43: Modelo digital batimétrico para o complexo praiar Barra da Lagoa - Moçambique demonstrando a depressão da feição <i>SB</i> . ....	85
Figura 44: Mosaico das imagens de SVL. (A) Formas de leito na parte sul da Ponta das Aranhas. Onde alto reflete um retorno acústico mais intenso e baixo, um retorno acústico menos intenso. (Imagens Aéreas: Secretaria de Desenvolvimento Sustentável de Santa Catarina). ....	88
Figura 45: Megaondulações assimétricas, catenárias na parte sul da Ponta das Aranhas. ....	89
Figura 46: Retroespalhamento para a Ponta das Aranhas mostrando a presença das megaondulações, bem como manchas com retono do sinal acústico mais intenso. Onde alto reflete um retorno acústico mais intenso e baixo, um retorno acústico menos intenso. (Imagens Aéreas: Secretaria de Desenvolvimento Sustentável de Santa Catarina). ....	91

Figura 47: Classificação supervisionada e não supervisionada. (Imagens Aéreas: Secretaria de Desenvolvimento Sustentável de Santa Catarina). .....	92
Figura 48: Batimetria de detalhe para a plataforma continental interna da Ponta das Aranhas. (A) Detalhe das megaondulações assimétricas, catenária, perpendicular a linha de costa. (Imagens Aéreas: Secretaria de Desenvolvimento Sustentável de Santa Catarina).....	94
Figura 49: Perfil assimétrico de uma megaondulações demonstrando o ângulo mais íngreme para norte, bem como sua altura.....	95
Figura 50: Perfis perpendiculares à linha de costa e suas respectivas declividades.....	96
Figura 51: Modelo digital batimétrico para a plataforma continental interna adjacente a Ponta das Aranhas, possibilitando a visualização da maior declividade na parte sul, bem como a feição SSB. ....	97
Figura 52: Modelo digital batimétrico para a plataforma continental interna adjacente a Ponta das Aranhas demonstrando as megaondulações assimétricas. ....	98
Figura 53: Mosaico das imagens de SVL. (A) Sequência de formas de leito na parte norte da antepraia do Santinho, variando de simétricas, para assimétricas sinuosas e então lunares. Onde alto reflete um retorno acústico mais intenso e baixo, um retorno acústico menos intenso. (Imagens Aéreas: Secretaria de Desenvolvimento Sustentável de Santa Catarina).....	100
Figura 54: Pequenas manchas de areia grossa na parte sul da plataforma continental interna do Santinho.....	101
Figura 55: Sequência de formas de leito encontrada na antepraia do Santinho. Esta evoluiu de simétricas, para assimétricas e então lunares. ....	101
Figura 56: Formas de leito identificadas na antepraia do Santinho. (A) Simétricas; (B) Assimétricas; (C) Lunares. ....	102
Figura 57: Esquema da sequência de formas de leito identificada na antepraia do Santinho. Modificado de Short (1999). ....	103
Figura 58: Retroespalhamento para plataforma continental interna e antepraia do Santinho demonstrando a predominância de apenas um tipo de sedimento. (A) Sequência de formas de leito, bem como o retorno mais intenso do nadir. Onde alto reflete um retorno acústico mais intenso e baixo, um retorno acústico menos intenso. (Imagens Aéreas: Secretaria de Desenvolvimento Sustentável de Santa Catarina). ....	104

Figura 59: Classificação supervisionada e não supervisionada. (Imagens Aéreas: Secretaria de Desenvolvimento Sustentável de Santa Catarina). .....	106
Figura 60: Batimetria de detalhe para a plataforma continental interna do Santinho. (A) Demonstra em detalhe a sequência de formas de leito identificada na antepraia do Santinho. (Imagens Aéreas: Secretaria de Desenvolvimento Sustentável de Santa Catarina). .....	107
Figura 61: (A) e (C) Início das marcas onduladas simétricas, indicando a profundidade de fechamento; (B) Perfil. ....	108
Figura 62: Perfil da marca ondulada assimétrica, sinuosa. ....	109
Figura 63: Perfil da forma de leito lunar. ....	109
Figura 64: Perfis perpendiculares à linha de costa e suas respectivas declividades. ....	110
Figura 65: Modelo digital batimétrico para a antepraia do Santinho, demonstrando a sequência de formas de leito que evoluiu de marcas oduladas simétricas, para assimétricas sinuosas e então lunares. ....	111
Figura 66: Mosaico das imagens de SVL. (A) Formas de leito assimétricas catenárias na parte norte da plataforma continental interna da Ponta dos Ingleses; (B) Formas de leito assimétricas catenárias na parte central da plataforma continental interna da Ponta dos Ingleses e a feição SB; (C) Depósito de sedimento fino ao sul do promontório. Onde alto reflete um retorno acústico mais intenso e baixo, um retorno acústico menos intenso. (Imagens Aéreas: Secretaria de Desenvolvimento Sustentável de Santa Catarina). ....	113
Figura 67: Formas de leito assimétricas sinuosas, dentro da depressão composta por areia grossa. ....	115
Figura 68: Megaondulações catenárias, perpendiculares a linha de costa. (A) Presentes na parte norte; (B) Presentes na parte central. ....	116
Figura 69: Retroespalhamento da plataforma continental interna da Ponta dos Ingleses indicando a heterogeneidade da mesma. (A) Megaondulações assimétricas catenárias na parte norte da plataforma continental interna da Ponta dos Ingleses; (B) Megaondulações assimétricas catenárias na parte central da plataforma continental da Ponta dos Ingleses e a feição SB; (C) Depósito de sedimento fino ao sul do promontório. Onde alto reflete um retorno acústico mais intenso e baixo, um retorno acústico menos intenso. (Imagens Aéreas: Secretaria de Desenvolvimento Sustentável de Santa Catarina). ....	118

Figura 70: Classificação supervisionada e não supervisionada. (Imagens Aéreas: Secretaria de Desenvolvimento Sustentável de Santa Catarina).	120
Figura 71: Batimetria de detalhe para plataforma continental interna da Ponta dos Ingleses indicando a heterogeneidade. (A) Megaondulações assimétricas catenárias na parte norte da plataforma continental interna da Ponta dos Ingleses; (B) Megaondulações assimétricas catenárias na parte central da plataforma continental interna da Ponta dos Ingleses e a depressão, característica de feição SB; (C) Área associada à resposta com menor intensidade. (Imagens Aéreas: Secretaria de Desenvolvimento Sustentável de Santa Catarina).....	122
Figura 72: Perfil e altura das formas de leito assimétricas catenárias. (A) Na parte norte do promontório; (B) Na parte central do promontório.	123
Figura 73: Corrente gerada no sentido oposto pela difração da onda na ponta do promontório. Modificado de Evans, 1948.....	124
Figura 74: Perfil paralelo à linha de costa demonstrado o acumulo de sedimento, na parte central do promontório. Este acumulo apresenta o formato de uma megaondulações, com assimetria para sul (P-P').....	125
Figura 75: Perfis perpendiculares à linha de costa e suas respectivas declividades.....	126
Figura 76: Modelo digital batimétrico para a plataforma continental interna da Ponta dos Ingleses, demonstrando a feição <i>shelf sand body</i> .	127
Figura 77: Modelo digital batimétrico para a plataforma continental interna da Ponta dos Ingleses, demonstrando a feição <i>shelf sand body</i> e as maiores declividades, tanto na parte central quanto norte. ....	127
Figura 78: Modelo digital batimétrico para a plataforma continental interna da Ponta dos Ingleses, demonstrando as <i>megaondulações</i> na parte central, bem como a depressão característica da feição SB. ....	128
Figura 79: Modelo digital batimétrico para a plataforma continental interna da Ponta dos Ingleses, demonstrando as megaondulações na parte norte. ....	128

## ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1: Classificação das formas de leito de acordo com Ashley (1990). .....	40
Quadro 2: Recursos estatísticos, fórmulas e suas descrições. Modificado de Fakiris & Papatheodorou (2007). .....	52



## LISTA DE ABREVIATURAS

DHN – Diretoria de Hidrografia e Navegação;  
DGPS – *Differential Global Positioning System*;  
FFT – *Fast Fourier Transformation*;  
GLCM – *Grey Level Co-occurrence Matrix*;  
GPS - *Global Positioning System*;  
kHz – Quilohertz;  
L.H. – Levantamento Hidrográfico;  
LOC – Laboratório de Oceanografia Costeira;  
m – Metros;  
MMA – Ministério do Meio Ambiente;  
MRU – *Motion Reference Unit*;  
RMS – Raiz Quadrada Média  
RSD - *Rippled Scour Depressions*;  
RTK – *Real Time Kinetic*;  
SB – *Sorted Bedforms*;  
SSB – *Shoreface Sand Body*;  
SVL – Sonar de Varredura Lateral;  
TVG – *Time Variation Gain*;  
TWTT - *Two Way Time Travel*;  
UGC – *User Gain Control*;





## SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO .....	23
1.1- MOTIVAÇÃO .....	25
1.2 – OBJETIVOS .....	26
1.2.1 - Objetivo Geral .....	26
1.2.2 - Objetivos Específicos .....	26
2 - ÁREA DE ESTUDO.....	26
3 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	30
3.1 - PROCESSOS COSTEIROS .....	30
3.1.1 - Correntes geradas por onda; .....	30
3.1.2 - Correntes geradas por maré; .....	31
3.1.3 - Correntes geradas por vento; .....	32
3.1.4 - Interação onda/corrente; .....	33
3.2 - TRANSPORTE DE SEDIMENTOS .....	33
3.3 - MECANISMOS DE TRANSPORTE.....	36
3.4 – FORMAS DE LEITO .....	37
3.7 – GEOACÚSTICA .....	41
3.8 – LEVANTAMENTO HIDROGRÁFICO (L.H.).....	45
3.8.1 - <i>Patch test</i> .....	47
3.9 – PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGEM .....	49
4 - METODOLOGIA .....	52
4.1 – AQUISIÇÃO.....	52
4.1.1 – Dados Sedimentológicos.....	52
4.1.2 – Dados Geoacústicos .....	53
4.2 – PROCESSAMENTO .....	58
4.2.1 – Dados Sedimentológicos.....	58
4.2.2 – Dados Geoacústicos .....	58
5 – RESULTADOS, DISCUSSÃO E CONSIDERAÇÕES .....	69
5.1 – BARRA DA LAGOA - MOÇAMBIQUE .....	69
5.1.1 – Sonografia.....	69
5.1.2 – Retroespalhamento ( <i>Backscatter</i> ) .....	76
5.1.3 – Classificação das imagens de SVL .....	78

5.1.4 – Batimetria .....	80
5.1.5 – Modelo Digital Batimétrico (3D) .....	84
5.1.6 – Considerações Gerais.....	86
5.2 – PONTA DAS ARANHAS.....	87
5.2.1 – Sonografia.....	87
5.2.2 – Retroespalhamento ( <i>Backscatter</i> ).....	90
5.2.3 – Classificação das imagens de SVL .....	92
5.2.4 – Batimetria .....	93
5.2.5 – Modelo Digital Batimétrico (3D) .....	96
5.2.6 – Considerações Gerais.....	98
5.3 – PRAIA DO SANTINHO .....	99
5.3.1 – Sonografia.....	99
5.3.2 – Retroespalhamento ( <i>Backscatter</i> ).....	103
5.3.3 – Classificação das imagens de SVL .....	105
5.3.4 – Batimetria .....	106
5.3.5 – Modelo Digital Batimétrico (3D) .....	110
5.3.6 – Considerações Gerais.....	111
5.4 – PONTA DOS INGLESES .....	112
5.4.1 – Sonografia.....	112
5.4.1 – Retroespalhamento ( <i>Backscatter</i> ).....	117
5.4.3 – Classificação imagens SVL .....	119
5.4.4 – Batimetria .....	120
5.4.5 - Modelo Digital Batimétrico (3D) .....	127
5.4.6 – Considerações Gerais.....	129
6 – CONCLUSÕES .....	131
7 - REFERÊNCIAS .....	134
8 – ANEXOS .....	141
8.1 – MAPA SONOGRÁFICO DA ÁREA DE ESTUDO .....	141
8.2 – MAPA BATIMÉTRICO DA ÁREA DE ESTUDO .....	142

## 1 - INTRODUÇÃO

A plataforma continental interna é dominada por ondas, correntes e maré. Esses processos tem a capacidade de gerar transporte de sedimento, bem como variações no tamanho de grão e na morfologia do leito, através e ao longo da costa (SHORT, 1999).

Na plataforma continental interna, está inserida a antepraia, se estendendo desde o limite onde as ondas de gravidade passam a interagir com o fundo, sem gerar variações morfológicas significativas (profundidade de fechamento), até a face da praia (SHORT, 1999; WRIGHT, 1995).

Nesta região, a natureza da dinâmica de ondas e correntes e seus fluxos resultantes, o transporte de sedimentos e as formas de leito podem variar significativamente, dependendo das condições de onda, profundidade, localização e tamanho de grão (SHORT, 1983).

As maiores transformações desses processos ocorrem ao se aproximarem da antepraia. São intensificados na zona de surfe, onde o transporte de sedimento é mais significativo, em função da sinergia de correntes e assimetrias no movimento orbital da onda, geralmente, resultando em um transporte em direção à costa (CLIFTON *et al.*, 1971; DAVIDSON-ARNOTT & GREENWOOD, 1974, WRIGHT, 1995).

O transporte de sedimento por meio de um fluxo depende do tamanho da partícula e das condições do fluxo, podendo ser na forma de tração e/ou suspensão (FRIEDMAN *et al.*, 1979; SOULSBY, 1997; VAN RIJN 1984, 2007; DEAN & DARLYMPIE, 2002). O movimento das partículas só ocorre quando as forças instantâneas do fluxo superam as forças instantâneas das mesmas, relacionadas ao peso das partículas submersas e ao coeficiente de fricção (SOULSBY, 1997; DEAN & DARLYMPIE, 2002; VAN RIJN 2007). São passíveis de interferência por diferentes fatores, incluindo: profundidade, geologia do leito e da subsuperfície, processos hidrodinâmicos e dinâmica sedimentar (WRIGHT, 1986).

Assim, feições e formas de leito de variados tipos e tamanhos ocorrem ao longo da plataforma continental e antepraia ao redor do mundo (CLIFTON *et al.*, 1971; CACHIONE *et al.*, 1984).

Uma característica deste ambiente é a presença de formas de leito, oriundas da interação fluxo e batimetria, sendo que suas dimensões estão diretamente relacionadas ao tamanho de grão e a intensidade do fluxo (WRIGHT, 1995). Van Rijn (2007) afirmou que interação de ondas e correntes com sedimentos inconsolidados pode produzir formas de leito de variados tamanhos, e tipos, de acordo com Clifton *et al.* (1971). São feições dominantes na plataforma continental

interna e antepraia, e sua forma reflete as características do processo atuante em sua formação (ASHLEY, 1990).

Outra característica, pioneiramente identificada por Cachione *et al.* (1984), são feições denominadas por estes autores como *Rippled Scour Depressions* (RSD), e ocorrem globalmente. Estas feições são depressões, que variam de 0.2 a 1 m, compostas por areia grossa e mal selecionada com a presença de marcas onduladas, adjacente a areia fina e bem selecionada, predominante. Já Murray & Thieller (2004), referem-se a esta mesma feição como *Sorted Bedforms* (SB), citando estas como parte de uma feição maior, desenvolvida em sedimentos heterogêneos.

Por se tratar de um ambiente submerso, plataforma continental interna e antepraia, estas podem ser exploradas de duas maneiras, através de métodos diretos e indiretos. Os métodos diretos são aqueles em que o investigador possui o contato direto com o objeto investigado, *e.g.* coleta de sedimento; testemunhos, mergulhos. Já os métodos indiretos, são aqueles em que o investigador não possui o contato direto com o objeto investigado, *e.g.* métodos geoacústicos, como a batimetria, sonografia e perfiladores de subsuperfície (HARRIS & BAKER, 2011).

Assim, os métodos geoacústicos constituem um conjunto de ferramentas de investigação, com características específicas e com aplicação, em especial, para estes ambientes, considerando a dificuldade encontrada pelos métodos diretos (SOUZA, 2006).

Dos métodos geoacústicos, os Sonares Diferenciadores de Fase (Interferômetros) se destacam, pois fornecem dados sonográficos e batimétricos, simultaneamente, proporcionando como dados de saída imagens do leito, profundidade e informações indiretas sobre o tipo de fundo (COLLIER & BROWN, 2004; FONSECA & CALDER, 2005; RAINEAULT *et al.*, 2013). Proporcionam uma maior área de cobertura, se comparados com multifeixes convencionais (BRISSON & WOLF, 2014), porém apresentam algumas limitações, relacionadas tanto aos feixes externos, quanto aos da região do *nadir*.

A sonografia tem por objetivo o imageamento da superfície de fundo em duas dimensões, registra mudanças na textura do sedimento além da localização de feições e possíveis alvos (BLONDELL, P., 2006; ATHERNTON, 2011). Ao passo que, a batimetria de varredura fornece informações sobre profundidade e morfologia, em duas e/ou três dimensões (RAINEAULT *et al.*, 2013).

Logo, busca-se sanar algumas lacunas relacionadas à ocorrência de feições e formas de leito presentes na plataforma continental interna e

antepraia, bem como os seus processos formadores e os tipos de sedimento associado a estas.

Neste estudo, o interferômetro EdgeTech 4600, 540 kHz foi utilizado para obter imagens de sonar de varredura lateral (SVL) e dados batimétricos, os quais foram utilizados para caracterizar a plataforma continental interna e antepraia adjacentes ao setor leste da Ilha de Santa Catarina, e assim identificar a cota batimétrica, a morfologia, o tipo de substrato e a presença de feições e formas de leito.

### 1.1- MOTIVAÇÃO

A motivação deste estudo partiu do desafio da aquisição de dados em uma área rasa e dinâmica, a plataforma continental interna e antepraia. Por se tratar de uma área de transição entre águas profundas e o continente, o conhecimento sobre sua morfossedimentologia é de grande interesse, acadêmico e privado.

Neste ambiente muitas atividades são desenvolvidas, como atividades portuárias, passagem de dutos submarinos e cabos ópticos, exploração de recursos minerais e atividades de lazer. Assim, a compreensão da morfologia e dinâmica da plataforma continental interna e antepraia, podem ser de vital importância para o desenvolvimento e planejamento seguro destas atividades.

Pelo fato da alta demanda de esforço, financeiro e de tempo, a interface entre águas profundas e o ambiente emerso muitas vezes apresenta certa escassez de informação. Além do fato deste ambiente ser muito dinâmico, com atuação de vento, ondas e correntes, também existe a limitação de profundidade, visto que a maioria das embarcações de grande porte não podem se aproximar de águas tão rasas, para segurança da embarcação e tripulação. Também em função da alta densidade do plano amostral, devido à limitação de abertura do ângulo de varredura, visto a relação diretamente proporcional, espaçamento entre linhas e profundidade.

A problemática relacionada a este estudo esta relacionada à busca da contribuição para o desenvolvimento relacionado a feições denominadas *Sorted Bedforms* (SB) e *Shoreface Sand Body* (SSB). Também associada à presença de formas de leito, que apresentam diferentes formas e tamanhos à medida que a profundidade diminui. Buscando assim, uma possível associação entre estas feições e formas de leito com o tipo de sedimento e os processos atuantes na área, visto que estas são características presentes na plataforma continental interna e antepraia ao redor do globo.

Assim, o desafio de contribuir para os avanços da pesquisa, o desenvolvimento e/ou melhoramento de conceitos e teorias sobre a morfologia, tipos de sedimento e suas associadas feições bem como os possíveis processos formadores através do padrão morfológico e sonográfico da plataforma continental interna e antepaia foi a grande motivação.

Outro fator foi à aplicação de uma técnica recente nesta área de investigações de ambientes submersas rasos, a interferometria, a qual fornece dados simultâneos de sonar e batimetria de varredura, pioneira no Brasil. Também pelo fato destas informações subsidiarem estudos paralelos, relacionados com a previsão de futuras linhas de costas e cotas de inundação bem como transposição de sedimento (*sediment bypass*) ao longo da Ilha de Santa Catarina.

## 1.2 – OBJETIVOS

### 1.2.1 - Objetivo Geral

Caracterizar a morfossedimentologia da plataforma continental interna e antepaia, adjacente ao setor leste da Ilha de Santa Catarina através de métodos geoacústicos (interferometria).

### 1.2.2 - Objetivos Específicos

- Identificar e classificar as diferentes feições e formas de leito presentes na área de estudo, bem como os possíveis processos formadores, utilizando os dados geoacústicos, sonar de varredura lateral e batimetria de varredura;
- Caracterizar indiretamente a sedimentologia da área de estudo, através dos dados geoacústicos, sonar de varredura lateral e retroespalhamento;

## 2 - ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo deste trabalho está localizada na região leste da Ilha de Santa Catarina, entre as praias da Barra da Lagoa e a Ponta dos Ingleses (Figura 1).

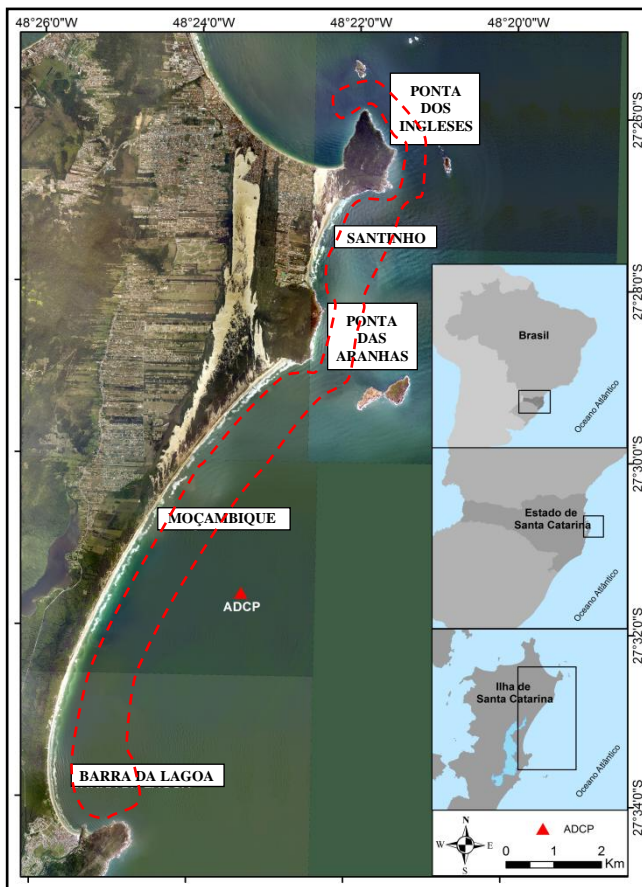


Figura 1: Área de estudo e localização do ADCP. (Imagens Aéreas: Secretaria de Desenvolvimento Sustentável de Santa Catarina).

Trata-se da plataforma continental interna e antepraia, abrangendo as profundidades entre 3 a 25 m, aproximadamente (Figura 1).

São caracterizadas pela presença de areia média a fina (Figura 2) (PGGM, 2010), apresentam baixa declividade, entre  $0,5^{\circ}$  e  $0,7^{\circ}$  (GRE, 1983), dominadas por ondas.

Estão inseridas em uma região de micromaré mista com predominância semi diurna, variando de 0,4 m na maré de quadratura a 1,2 m, na maré de sizígia (SCHETTINI, 2002; KLEIN, 2004). Pode atingir até 1 m acima do nível previsto em condições de marés

meteorológicas (TRUCOLLO, 1998; TRUCOLLO *et al.*, 2006). São predominantes durante todo o ano, ventos do quadrante norte, associados ao Anticiclone Tropical Atlântico, sucedidos em predominância pelos ventos do quadrante sul, decorrentes do Anticiclone Polar (MONTEIRO, 1992).

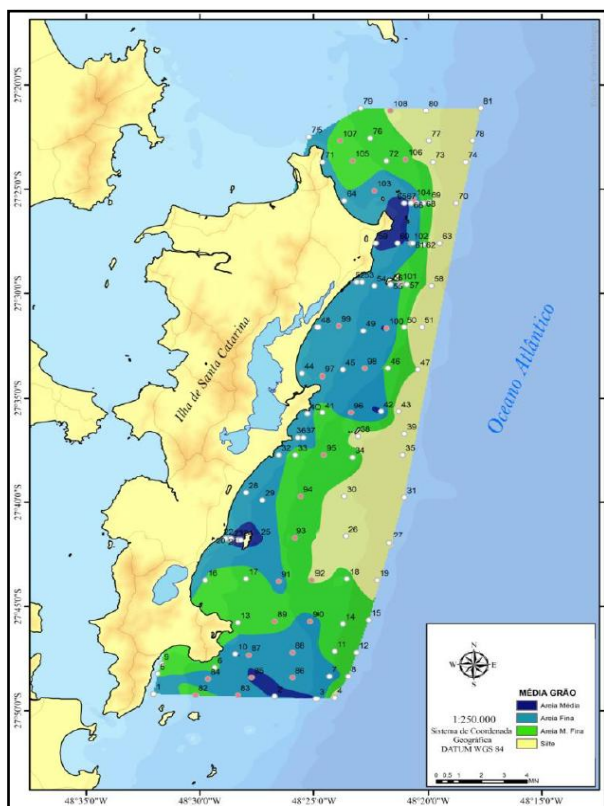


Figura 2: Caracterização sedimentológica do setor leste da Ilha da de Santa Catarina. Modificado de PGGM (2010).

Araujo *et al.* (2003), através da análise de dados de um ondógrafo, fundeado durante os meses de dezembro de 2001 a janeiro de 2003, a 35 km da Ilha de Santa Catarina, na isóbata de 80m, descreveram a ocorrência de um espectro de ondas bi-modal, bem definido. Este é constituído por ondas do tipo “vagas”, provenientes de leste, e predominantes na primavera e verão, com período de 8s e altura



significativa de 1,25m; e ondas do tipo “swell” predominantes no outono e inverno, com período de 12s, alturas significativas de 1,5m e 2m respectivamente, provenientes do quadrante sul.

Porpilho *et al.* (2015), analisando os dados de um ADCP Nortek – AWAC (Figura 3), fundeado a 21,8 m de profundidade no complexo praial Barra da Lagoa – Moçambique (Figura 1) durante o período de dezembro de 2013 à junho de 2014, demonstraram a ocorrência de correntes bidirecionais, dos quadrantes norte e sul, apresentando frequência de ocorrência muito semelhantes. Correntes para o sul (29,07%) prevaleceram sobre as que migram para norte (27,06%). Analisado a magnitude destas, estes verificaram que as correntes para norte se sobressaem, sendo a máxima velocidade medida neste período, 0,6 m/s, próxima ao leito.

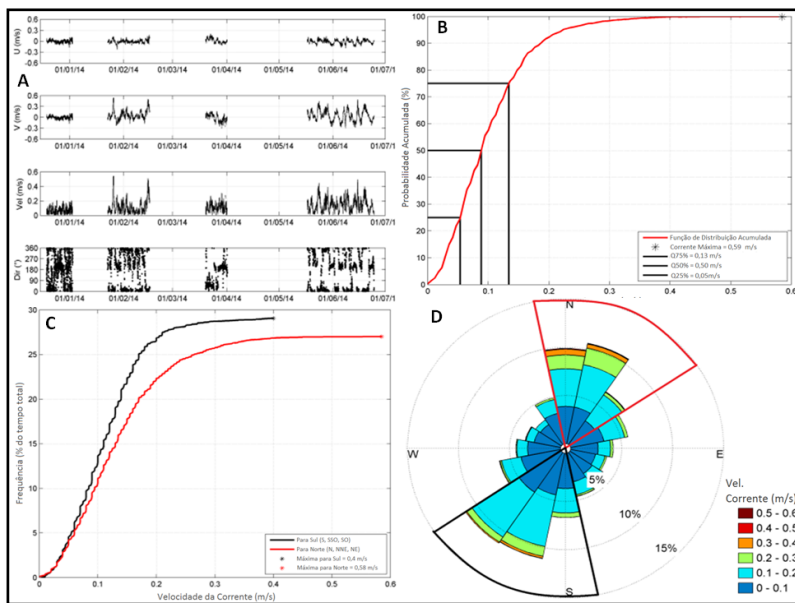


Figura 3: Dados ADCP. (A) Série de dados; (B) Frequência acumulada da corrente próxima ao leito. (C) Frequência de ocorrência acumulada da corrente próxima ao leito; (D) Direções da corrente demonstrando as correntes para norte em vermelho e para sul, em preto. Modificado de Porpilho *et al.* (2015).

### 3 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 3.1 - PROCESSOS COSTEIROS

Visto que ondas, correntes e vento transferem energia e momento (DEAN & DARLYMPIE, 1984), mesmo que indiretamente para o leito, o interesse nestes processos costeiros, parte da necessidade de entender variações morfológicas e morfodinâmicas na plataforma continental e antepraia (Figura 4) (COLLINS & BALSON, 2007).

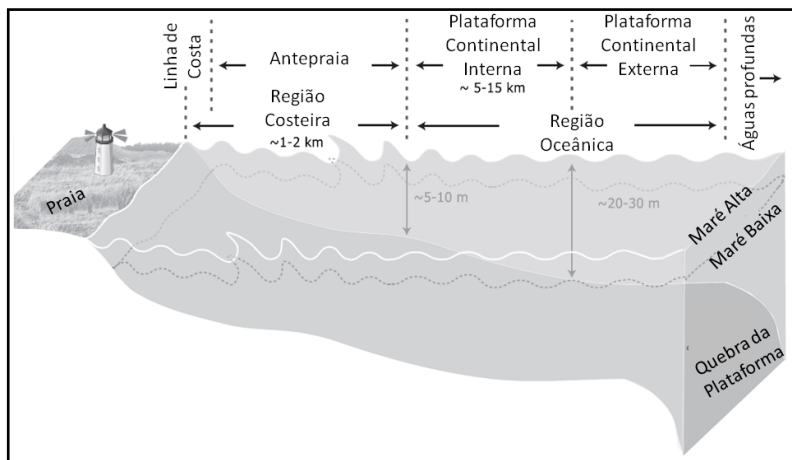


Figura 4: Zonagem hidrocinâmica da plataforma continental. Modificada de Razak (2015).

Os processos hidrocinâmicos associados ao transporte de sedimento variam de acordo com a profundidade, distância da costa e latitude, e podem ser controlados por eventos extremos. Na plataforma continental interna e antepraia os processos dominantes são: as correntes geostróficas, correntes inerciais (geradas pelo vento) e ondas de gravidade (WRIGHT *et al.*, 1986).

Assim, quando refere-se a variações morfológicas e morfodinâmicas da plataforma continental interna e antepraia, estas são representadas por componentes ao longo e através da costa, tanto para fluxos, quanto para sedimentos (WRIGHT, 1995; SHORT, 1999).

##### 3.1.1 - Correntes geradas por onda;

Ondas são agentes dominantes na plataforma continental interna e antepraia. Seus processos são responsáveis por gerar movimentos oscilatórios do fluido, resultando em correntes, transporte de sedimento

e variações do leito (VAN RIJN, 1998). Estas têm a capacidade de mover a partículas de sedimento de duas maneiras.

Em águas profundas, ou em profundidades igual ao comprimento de onda, a passagem da onda gera um gradiente de velocidade orbital vertical. Estas apresentam um movimento orbital simétrico, onde a velocidade diminui consideravelmente da superfície para o fundo. Em águas rasas este movimento se torna mais assimétrico ou elíptico, apresentando uma tendência de transporte para costa na crista da onda, e para fora da costa na cava, sendo o movimento para costa mais significativo, contribuindo para o transporte de partículas na forma de tração (NILSEN, 1992; SOULSBY, 1997; WRIGHT, 1995; SHORT, 1999)

Também, ao atingirem a linha de costa, as ondas geram correntes paralelas e perpendiculares. Estas correntes acabam por gerar as células de circulação, as quais além de moldar a antepraia, com relação à presença ou não de bancos e cavas, geram transporte de sedimento (DEAN & DARLYMPIE, 2002).

### **3.1.2 - Correntes geradas por maré;**

A geração de marés astronômicas é resultado da interação entre o Sol, Terra e a Lua, e efeitos meteorológicos estão subentendidos na propagação da onda de maré (DEAN & DARLYMPIE, 1984).

Marés são geradas em oceanos, onde a força gravitacional é efetiva em função dos efeitos astronômicos. A rotação da Terra origina uma força aparente (Força de Coriolis), a qual age perpendicularmente a direção do fluido.

Segundo Godin (1972) a maré é uma alteração temporal na posição da matéria em uma parte do astro, causada por uma mudança temporal das forças gravitacionais que agem sobre este e outros astros, e que no oceano se manifesta como uma variação regular do nível do mar. Estas variações são adicionalmente afetadas por turbulências, efeitos internos e efeitos locais. Como os movimentos dos astros são periódicos, a inspeção da expressão analítica desse potencial, se possível, deve permitir a determinação dos períodos e as amplitudes das componentes da força de maré, chamadas de constantes harmônicas.

Em águas muito profundas, sua ação é extremamente pequena (VAN RIJN, 1998), visto a dimensão da coluna d'água, comparada com sua amplitude. À medida que a profundidade diminui e a amplitude de maré aumenta, a velocidade tende a aumentar, bem como o transporte de sedimento, o qual pode ser potencializado por interações entre maré, ondas e corrente (WRIGHT, 1995).

Para a questão do transporte e redistribuição de sedimento em águas rasas, relacionado à maré, o fluxo horizontal bidirecional resultante da oscilação da mesma é o fator mais relevante (WRIGHT, 1995).

A onda de maré que chega a costa foi gerada em águas profundas, e por isso passa por transformações como difração, amplificação da altura, entre outros, e acaba por gerar correntes. Estas correntes são controladas por gradientes de pressão, atrito com o leito e pela força de Coriolis. À medida que se aproximam de águas rasas, não são mais influenciadas pela ação de Coriolis (VAN RIJN, 1998).

As correntes residuais de maré são produtos da direção de propagação desta e da batimetria local, e geralmente ocorrem ao longo da costa, ou seja, paralela à linha de costa. Mesmo que estas correntes não afetem significativamente a morfologia da praia, estas podem resultar em um transporte de sedimento significativo, dependendo da direção e magnitude. Também geram variações verticais, e dependendo da amplitude, podem gerar variações morfológicas, como aumentar ou diminuir a profundidade de fechamento, modificar a zona de espraiamento, entre outros (WRIGHT *et al.*, 1982).

Wright *et al.*, 1982 demonstraram que a corrente paralela a costa, geralmente é controlado pela maré e que estas correntes podem ser potencializadas por correntes geradas por vento ou pela batimetria local (ilhas, promontórios e bancos de areia), sendo as correntes geradas por vento a forçante mais significativa (MASSELINK & HEGGE, 1995).

### **3.1.3 - Correntes geradas por vento;**

A ação do vento sobre a superfície do oceano transfere momento e energia gerando correntes inerciais, consequência da tensão de cisalhamento (WRIGHT, 1995). Estas podem ser divididas em dois grupos, aquelas geradas por ventos de tempestades locais, relativamente de curta duração, ou, geradas por circulação de larga escala, em função dos efeitos de longa duração (VAN RIJN, 1998).

A velocidade das correntes gerada pelo vento diminui da superfície para o leito, quase que de forma exponencial. Assim, quando o vento age sobre a superfície do oceano profundo em uma direção, a corrente tende a seguir este padrão, mas também derivar para outras direções em função do efeito de Coriolis. Outro processo que age em águas profundas é conhecido como espiral de Eckman, que precisa de certas condições para ocorrer, como a longa duração do vento sobre a superfície na mesma direção, derivando a corrente para direções a partir

de 45°. Em águas rasas, este efeito não é significativo, sendo que a corrente tende a seguir a direção do vento, e com uma resposta relativamente rápida, se comparada a águas profundas (VAN RIJN, 1998).

### **3.1.4 - Interação onda/corrente;**

Na antepraia, onde a interação onda/corrente é mais intensa, a força de Coriolis não é mais significativa, sendo que ondas e correntes passam a interagir quase que diretamente com o leito, visto a diminuição da coluna d'água, assim transferindo momento e energia de maneira mais significativa, e então gerando maiores variações morfológicas (WRIGHT, 1995).

A interação das ondas induzidas pelo vento com a batimetria e outras correntes geram movimentos de longa duração próximo à costa, sendo a resposta do leito, com respeito à ação combinada de ondas e correntes, diferente, se comparada com um fluxo unidirecional apenas (LI *et al.*, 1997). Visto isso, a tensão de cisalhamento gerada sob a ação combinada de ondas e correntes é maior do que a gerada apenas pela atuação da mesma corrente (SOULSBY & DAMGAARD, 2005).

Assim, na zona de surfe, a velocidade oscila, com constantes variações na direção e velocidade devido à sobreposição de ondas de varias frequências e correntes unidirecionais (SHORT, 1999).

Ondas e correntes interagem de inúmeras maneiras, sendo: - refração das ondas pelas correntes horizontais; - geração de correntes próximas ao leito pelas ondas; geração de correntes ao longo da costa pela quebra das ondas; modificação da cinemática das ondas pelas correntes; modificação da estrutura vertical do fluido pelas ondas; - aumento da fricção com o leito, pela interação da corrente com as ondas; - aumento da tensão de cisalhamento e dissipação da energia das ondas, através da interação com a corrente (VAN RIJN, 1998).

### **3.2 - TRANSPORTE DE SEDIMENTOS**

O transporte de sedimento só irá ocorrer quando as forças instantâneas do fluxo e/ou ondas superarem as forças de resistência das partículas em inércia, relacionada ao peso destas submersa e ao coeficiente de fricção (REINECK & SINGH, 1975; DEAN & DARLYMPIE, 1984; NIELSEN, 1992).

A ação do fluxo tende a transmitir energia e momento, agindo tangencialmente ao leito. Esta ação gera uma tensão de cisalhamento, ou seja, a pressão que o fluido exerce sobre a superfície do leito, sendo expressa em força por unidade de área, *e.g.* N/m<sup>2</sup>, a uma velocidade, a

velocidade de cisalhamento, expressa em m/s (WRIGHT, 1995; VAN RIJN, 1998; SHORT, 1999). Este parâmetro é muito importante, pois através desta tensão, pode-se chegar ao gradiente de velocidade na coluna d'água bem como forças necessárias para mover o grão (SHORT, 1999).

Na plataforma continental, assim como próxima a costa, a camada limite é influenciada pelo efeito de fricção gerado pela combinação de ondas e correntes, turbulência e atrito do fluxo com o leito, controlando o transporte de sedimento e a estabilidade do mesmo (LI *et al.*, 1996), interagindo não linearmente e controlando a camada limite (WRIGHT, 1995).

A camada limite é a zona próxima ao leito onde o movimento do fluido é significativamente influenciado pela resistência ao atrito gerado no fundo, e está associada a forças viscosas. A velocidade, que varia de zero, no leito, e chega a seu máximo, atingindo a velocidade do fluxo, acima do leito (NIELSEN, 1992; SOULSBY, 1997; DYER & SOULSBY, 1988; LI *et al.*, 1997).

Quando, analisado apenas a ação de ondas sobre o leito, a espessura desta camada depende do período das ondas, e geralmente está na ordem de poucos centímetros (GRANT & MADSEN, 1986).

Sob a ação de correntes unidirecionais, a tensão de cisalhamento deve apresentar um gradiente exponencial, da superfície para o leito (NIELSEN, 1992; DEAN & DARLYMPIE, 2002; VAN RIJN, 1993; SHORT, 1999). Levando em consideração correntes geostróficas e de maré, esta camada pode apresentar espessura na ordem de centena e dezena de metros, respectivamente (WRIGHT, 1995).

Como na plataforma continental interna e na antepraia, dificilmente observa-se a ação individual de ondas ou correntes, visto que estes fenômenos coexistem e coocorrem, deve-se considerar a ação da tensão de cisalhamento por ondas. Isto pelo fato desta camada apresentar uma espessura menor, se comparada a ação de correntes, e um gradiente de velocidade de cisalhamento maior (SHORT, 1999).

Nesta camada, o efeito viscoso exerce uma grande influencia (NIELSEN, 1992). O efeito viscoso depende da rugosidade das partículas na superfície do leito em relação à velocidade de cisalhamento, e pode ser expresso através do número de Reynolds, para rugosidade.

$$Re_* = \frac{vk_s}{v}, \quad (\text{eq. 1})$$

Onde:  $V$  = velocidade;  $k_s$  = rugosidade relacionada ao grão;  $\nu$  = viscosidade cinemática.

Assim, quando  $Re$  for maior e menor que setenta, o fluxo é considerado altamente turbulento e pouco turbulento, respectivamente (WRIGHT, 1995).

Então, quanto maior a rugosidade do leito, maior o gradiente de velocidade, e mais tensão é exercida pelo movimento do fluido. Na presença de ondas e correntes, a rugosidade esta diretamente relacionada ao movimento orbital da onda. Já a rugosidade total, é derivada da rugosidade do grão, a exercida pela presença de formas de leito e também pelo transporte de sedimento (NIELSEN, 1992).

Outro fator muito importante, relacionado com os processos costeiros e o transporte de sedimento, é o início do movimento do grão. Como mencionado anteriormente, só irá ocorrer quando as forças dos fluidos superarem as forças das partículas em inércia, atingindo um valor crítico necessário para dar início ao movimento. Este parâmetro adimensional foi determinado pioneiramente por Shields, expresso como:

$$\theta = \frac{\tau_{*cr}}{(\rho_s - \rho)d_{50}}, \quad (\text{eq.2})$$

Onde:  $\tau_{*cr}$  = tensão de cisalhamento crítica;  $\rho_s$  = densidade do sedimento;  $\rho$  = densidade da água;  $d_{50}$  = diâmetro mediano do grão.

Levando em consideração esses conceitos, Lewis (1984) desenvolveu uma relação entre tamanho de grão e a velocidade de corrente, resultando nos tipos de formas de leito que podem ser geradas através desta interação, corrente/leito (Figura 5).

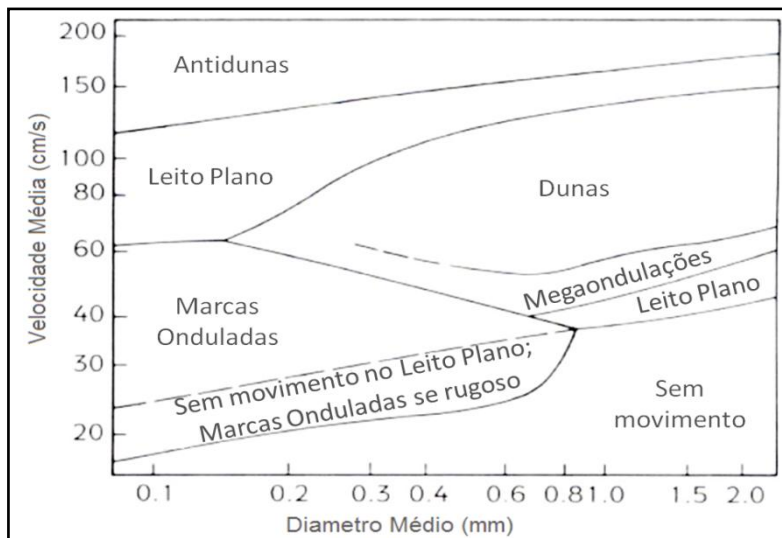


Figura 5: Relação entre tamanho de grão, velocidade de corrente e tipos de formas de leito. Adaptado de Lewis 1984.

### 3.3 - MECANISMOS DE TRANSPORTE

Visto a ação combinada e individual de ondas e correntes, processos dominantes na plataforma continental interna e antepraia, bem como os efeitos da camada limite, rugosidade, tensão e velocidade de cisalhamento e o parâmetro adimensional para o início do movimento do grão, quando as partículas passam a se movimentar, estas podem ser transportadas de duas maneiras, sendo por tração (*bed load*) e/ou por suspensão (*suspended load*) (REINECK & SINGH, 1975; NIELSEN, 1992; SOULSBY, 1997; VAN RIJN, 1998; SHORT, 1999).

Assim, as partículas podem ser transportadas de três maneiras, sendo por rolamento e saltação os quais caracterizam o transporte por tração; e/ou também a suspensão das partículas, a qual caracteriza o transporte por suspensão. O tipo de transporte vai depender das condições do fluxo e do tamanho do grão, e não há uma divisão exata ou um contato bem definido entre estes (REINECK & SINGH, 1975; NIELSEN, 1992; SOULSBY, 1997; VAN RIJN, 1998; SHORT, 1999).

À medida que a velocidade de cisalhamento supera o valor crítico para o início do movimento, as partículas passam a saltar e/ou rolar, sempre em contato com o leito. Caso este fluxo apresente um aumento de velocidade, estas partículas são colocadas em suspensão, e



em ambos os casos são transportadas no sentido do fluxo (WRIGHT, 1995; VAN RIJN, 2007).

Bagnold (1956) definiu que as partículas que caracterizam o transporte por tração é resultado da interação entre grãos, ou seja, são governadas por forças resultantes do contato entre elas, sempre próximas ao leito. Enquanto, que o transporte por suspensão é caracterizado pelo arrasto do fluido, suspendendo as partículas a um nível onde a forças ascendentes de turbulência, são iguais ou superiores ao peso da partícula submersa, resultando no transporte.

Então, o transporte por tração é determinado pela ação efetiva da tensão de cisalhamento sobre as partículas no leito e sua taxa de transporte é função do parâmetro adimensional de Shields, sendo que este mecanismo de transporte está diretamente relacionado com a geração e migração das formas de leito (BAGNOLD, 1956; DEAN & DARLYMPIE, 2002; SHORT, 1999; VAN RIJN, 2007), bem como com a evolução morfológica do leito, numa escala local (SOULSBY & DAMGAARD, 2005).

Já o transporte por suspensão pode ser computado como o produto da velocidade do fluxo e da concentração de sedimento e passa a ser dominante quando a velocidade de cisalhamento se aproxima ou supera a velocidade de sedimentação das partículas (BAGNOLD, 1956; DEAN & DARLYMPIE, 2002; SHORT, 1999; VAN RIJN, 2007).

Para grãos com dimensão maior, o transporte por tração acaba por ser mais significativo, sendo que em casos extremos estes tendem a ser transportados por suspensão também, já para partículas menores, o transporte por suspensão sobressai, porém, o transporte por tração não pode ser excluído (SOULSBY, 1997).

Frisando que, para mover partículas menores que areia fina, quando muito compactadas, ou seja, sedimentos altamente coesivos, é necessário correntes de magnitudes na mesma ordem daquelas que movem seixos. Isto ocorre em função da coesão destas partículas mais finas, tornando-as mais difíceis de transportá-las, sendo este efeito conhecido como efeito *Hjulström* (FRIEDMAN *et al.*, 1992; SOULBY, 1997).

### 3.4 – FORMAS DE LEITO

Formas de leito são corpos de armazenamento de sedimento com tempo de resposta relativamente curto a variações nas características do fluxo. Sua presença e variações estão relacionadas com o tamanho de grão e a magnitude do fluxo, expresso como

velocidade média ou tensão de cisalhamento (ASHLEY, 1990; LEWIS, 1984).

A variação da morfologia na plataforma continental interna e antepraia é resultado da ação combinada de correntes e ondas, de variadas frequências e direções. Van Rijn (2007) cita que a ação de ondas e correntes é capaz de gerar formas de leito dos mais variados tamanhos e tipos, enquanto que sua forma reflete a intensidade e o processo formador (ASHLEY, 1990; LEWIS, 1984; VAN RIJN, 2007).

As partículas do leito sob a ação de fluxos unidirecionais tendem a gerar marcas onduladas assimétricas, as quais apresentam um ângulo mais íngreme no sentido da corrente, ou seja, uma forte assimetria; enquanto que as partículas sujeitas à ação de fluxos bidirecionais, tendem a gerar formas de leito simétricas, e não apresentam este ângulo mais íngreme (ASHLEY, 1990).

É possível observar uma grande variedade de formas de leito na plataforma continental e antepraia, e sua geração está condicionada a agentes forçantes, como correntes, ondas e marés, sobre o sedimento inconsolidado, sendo que estes agentes precisam apresentar magnitude suficiente para movimentar as partículas de sedimento (VAN MEENE, 2008).

As formas de leito são feições relevantes e sua presença acaba por gerar um aumento na tensão de cisalhamento e na rugosidade, afetando a concentração vertical de sedimento em suspensão bem como no gradiente de velocidade (CLIFTON *et al.*, 1971; VAN RIJN, 1998).

Assim, em ambientes de alta energia, a ação das ondas tendem a gerar estruturas sedimentares no leito. Estas estão associadas a assimetria do movimento orbital da onda, o qual tende a aumentar a medida que diminui a profundidade, até alcançar a zona de surfe, onde a quebra da onda controla o fluxo e consequentemente o transporte de sedimento (CLIFTON *et al.*, 1971; OSBOURNE & VINCENT, 1993).

Alguns autores (CLIFTON *et al.*, 1971; DAVIDSON-ARNOTT, & GRENNWOOD, 1974; OSBOURNE & VINCENT, 1993; SHORT, 1999) identificaram uma sequência de formas de leito (Figura 6) que ocorrem a partir da profundidade de fechamento até a zona de espraiamento, sendo relacionada ao estado morfodinâmico da praia, declividade, presença ou não de bancos, rugosidade, tamanho de grão, ângulo de incidência e assimetria no movimento orbital da onda. Esta sequência pode ser interpretada com relação ao regime do fluxo (CLIFTON *et al.*, 1971; SHORT, 1983).



Quadro 1: Classificação das formas de leito de acordo com Ashley (1990).

Classificação das Formas de Leito	Sociedade de Geologia Sedimentar (SEPM)			
Classificação de 1º ordem (necessário)				
	pequena	média	grande	muito grande
Comprimento	0,6 - 5m	5 - 10m	10 - 100m	> 100m
Altura	0,075 - 0,4m	0,4 - 0,75m	0,75 - 5m	> 5m
Forma	simétrica (2D)	assimétrica(3D)		
Classificação de 2º ordem (importante)				
Sobreposição	Simples	Composta		
Características do Sedimento	Tamanho	Classificação		
Classificação de 3º ordem (útil)				
Perfil da Forma de Leito	Comprimento	Ângulo de inclinação		
Área de cobertura	Fração do leito coberto pelas feições			
Processo costeiro atuante	Onda	Corrente	Maré	
Característica da corrente	direção	velocidade		

Além destas feições, referidas como formas de leito, citadas acima, existem outras feições denominadas *Rippled Scour Depressions* (RSD) ou *Sorted Bedforms* (SB), bem como as *Shoreface Sand Bodies* (SSB).

As RSD ou SB ocorrem e foram documentadas ao longo da plataforma continental e da antepraia ao redor do globo (CACHIONE *et al.*, 1984; MURRAY & THIELER, 2004; BELLEC *et al.*, 2010; GUTIERREZ *et al.*, 2005; SOUZA & CORREA, 2006; TREMBANIS & HUME, 2010; PORPILHO *et al.*, 2014).

São depressões na ordem de centímetros a metro, composta por areia grossa com a presença de marcas onduladas, e variam de metros a centenas de metros em largura e metros até quilômetros em extensão, geralmente perpendicular à costa, e adjacente a uma areia fina e bem selecionada, predominante (CACHIONE *et al.*, 1984; MURRAY & THIELER, 2004).

Sua formação tem sido associada a correntes através da costa (CACHIONE *et al.*, 1984); combinação entre ondas e correntes (MURRAY & THIELER, 2004); escavamento por correntes de maré (BELLEC *et al.*, 2010); e correntes geradas por vento ao longo da costa (VAN OYEN *et al.*, 2011).

Esta feição pode agir como uma fonte e/ou sumidouro de areia grossa e fina (COCO *et al.*, 2007; GOLDSTEIN *et al.*, 2011), bem como um possível área de nascimento para algumas espécies de peixes, aumentando a heterogeneidade do habitat (HALLEMBECK *et al.*, 2012).

Já as SSB, também ocorrem na plataforma continental e foram documentadas na costa sudeste da Austrália. Estas são acumulações de areia da plataforma num formato convexo, produtos da ação de correntes e ondas sobre um substrato relativamente íngreme ( $>1^\circ$ ), na presença de um aporte sedimentar adequado (FERLAND, 1990; ROY *et al.*, 1997).

Sua formação é associada a condições de transgressão marinha, sendo que a morfologia consiste em uma superfície planar ( $< 0,5^\circ$ ), e um formato convexo ( $1 - 5^\circ$ ) na direção pra fora da costa (*offshore*) (ROY *et al.*, 1997).

### 3.7 – GEOACÚSTICA

Os métodos geoacústicos, aplicados a exploração de ambientes submersos, são utilizados para detecção e localização de objetos no leito marinho, morfologia, profundidade, informações sobre superfície e subsuperfície. Utilizam o princípio de propagação de ondas acústicas

através da coluna d'água, *e.g.* sonar de varredura lateral, ecobatímetros mono e multifeixe, sonares batimétricos diferenciadores de fase (interferômetros) e perfiladores de subsuperfície (IHO, 1998; SOUZA, 2006; HARRIS & BAKER, 2011).

Estes métodos apresentam um amplo espectro de frequência, que varia entre um Hz a centenas de kHz. Esta ampla faixa permite que estes equipamentos sejam utilizados tanto em águas profundas, como em águas rasas, necessitando da combinação correta entre profundidade, frequência e resolução angular. Maiores frequências são utilizadas em águas rasas, fornecem melhor resolução angular e possuem baixo ou nenhum poder de penetração no sedimento, enquanto que menores frequências são utilizadas em águas profundas, fornecem menor resolução angular e maior capacidade de penetração no sedimento (HARRIS & BAKER, 2011).

Baseiam-se no tempo de ida e volta do sinal, o qual é parcialmente refletido, absorvido e refratado. O princípio da reflexão esta relacionado com o conceito de impedância acústica. Para este conceito, deve-se levar em consideração a razão da velocidade do sinal acústico sobre a pressão exercida pelo mesmo, e modificando esta razão, a impedância acústica passa ser o produto entre a densidade do meio ( $\rho$ ) e velocidade do som no meio ( $c$ ) (eq. 3) (URICK, 1983; MEDWIN & CLAY, 1998).

$$I = \rho c \quad (\text{eq. 3}),$$

Onde:  $\rho$  = densidade do meio;  $c$  = velocidade do meio;  $I$  = impedância acústica.

Assim, as ondas acústicas emitidas pelos transdutores em um tempo conhecido se propagam na coluna d'água, até atingirem um meio de impedância acústica diferente, geralmente o leito marinho, onde parte do sinal retorna e a outra parte refrata e/ou penetra no leito, a depender da frequência utilizada (JACKSON & RICHARDSON, 2007).

Neste contexto será abordado apenas os equipamentos geoacústicos de alta frequência, sem poder de penetração, mais especificamente, os sonares batimétricos diferenciadores de fase ou interferômetros. Estes tem por finalidade o mapeamento de ambientes submersos rasos, com a finalidade de gerar e transmitir o sinal acústico, derivando esta informação em duas informações, sendo o tempo de ida e volta e a intensidade do retorno do sinal, corrigida (sonar de varredura lateral) e bruta (retroespalhamento ou *backscatter*).

Sonares batimétricos diferenciadores de fase fornecem informações combinadas de sonar e batimetria de varredura, simultaneamente. Estes possuem transdutores em dois lados (*sonar head*), sendo que em cada um dos lados estão localizados emissores e receptores. Estes emitem os sinais eletroacústicos e determinam o ângulo de resposta do leito através da diferença de fase, proporcionada pela distância entre os receptores, que podem variar entre  $\frac{1}{4}$  a 1 comprimento de onda, convertendo esta informação em distância e consequentemente em profundidade (MANUAL EDGETECH 4600, 2012).

Têm por finalidade mensurar o tempo de ida e volta do sinal, convertendo esta informação em profundidade, bem como a intensidade do retorno do sinal. Assim, fornecendo informações sobre a batimetria e também sobre a natureza de fundo. Profundidade/alcance/distância é determinada calculando o tempo de ida e volta do sinal (*TWTT*), bem como o ângulo de recepção é determinado medindo a diferença de fase do sinal recebido entre os receptores, e para isso um sensor preciso de velocidade do som na água, o qual é acoplado na parte frontal do transdutor é utilizado, sendo essencial para determinação destes ângulos e distância (JACKSON & RICHARDSON, 2007).

Esse tipo de sistema apresenta dificuldade quando sinais de diferentes direções retornam, bem como aqueles que retornam do nadir ou ângulo reto (90° graus). Interferômetros geralmente geram dados ruidosos, por possuir uma alta taxa de amostragem, assim, sendo suavizados através de médias (LURTON, 2000).

O sistema EDGETECH 4600, 540 kHz (Figura 7) apresenta oito transdutores em cada lado, sendo o central responsável pela transmissão do sinal (transmissor), e todos responsáveis por receber (receptores). A diferença de fase do sinal que retorna, é calculada em cada transdutor (MANUAL EDGETECH 4600, 2012).

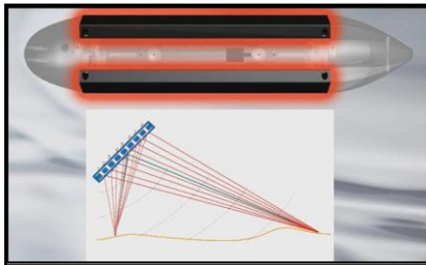


Figura 7: Exemplo interferômetro EdgeTech® 4600 - 540 kHz. Adaptado de Manual EDGETECH 4600 (2012).

Assim, as informações oriundas do interferômetro são imagens de sonar de varredura lateral, batimetria de varredura e retroespalhamento.

As imagens do sonar de varredura lateral consistem em uma informação em duas dimensões, possibilitando a identificação indireta de diferentes tipos de sedimento que compõem o leito, presença de rochas e naufrágios, formas de leito e tubulações. São produtos do arranjo do retorno do eco, corrigindo possíveis atenuações e ruídos do sinal (BLONDELL, 2006; ATHERNTHON, 2011).

A batimetria de varredura fornece informações sobre profundidade, declividade e morfologia em duas e/ou três dimensões. Está é produto do ângulo e do tempo de retorno do sinal, oriundo da diferença de fase entre os receptores em cada lado, e utiliza a velocidade do som para converter o tempo de ida e volta do sinal em profundidade (MANUAL EDGETECH 4600, 2012).

O retroespalhamento, bem como o sonar de varredura lateral (SVL), fornece informações em duas dimensões, dos diferentes tipos substrato que compõem o leito, bem como naufrágio, formas de leito e tubulações. Este é definido como o total de energia acústica recebida pelos transdutores, sendo a informação ‘bruta’, diferente das imagens do sonar de varredura lateral.

Assim, o retroespalhamento é proporcional ao tamanho de grão (Figura 8), ou seja, à medida que aumenta o diâmetro do grão, mais intenso é o retroespalhamento. Isto indica uma maior densidade do grão, consequentemente uma maior diferença de impedância acústica, resultando num retroespalhamento mais intenso (COLLIER & BROWN, 2004; FONSECA & CALDER, 2005; WEBER, 2015).



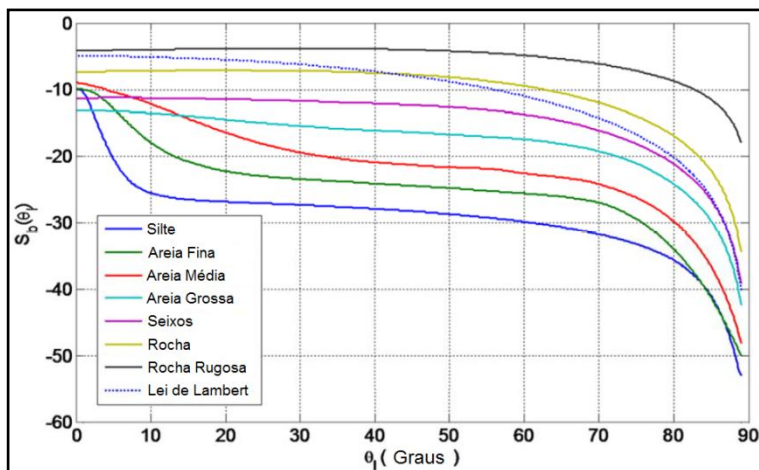


Figura 8: Relação entre retroespalhamento e tamanho de grão. Adaptado de Weber (2015).

### 3.8 – LEVANTAMENTO HIDROGRÁFICO (L.H.)

Para garantir uma alta resolução e precisão em L.H. é necessário acoplar um DGPS, um sensor de movimento (*MRU*) e a antena *gyro* (referência de direção). Posteriormente, os dados aquisitados devem ser corrigidos, utilizando os dados de maré e de um perfilador acústico do som (IHO, 1998).

O objetivo principal da precisão no posicionamento horizontal em L.H. é referenciar espacialmente a “pegada” do sonar (*sonar footprint*), ou seja, inferir uma precisão sobre a posição dos possíveis alvos ao longo da varredura. Os sistemas de *GPS* utilizados para posicionamento, sendo *GPS-RTK* ou *DGPS* de dupla frequência (L1/L2) registram a fase e o código, fornecendo uma alta precisão no posicionamento, podendo atingir a ordem de milímetros (IMCA, 2006; PRANZIN & LORENZO, 2013).

Já a *gyro*, corrige os movimentos da embarcação em relação ao quadro de navegação (*heading*), minimizando erros horizontais sobre o azimute verdadeiro (MANUAL HEMESPHERE, 2010).

Os sensores inerciais, corrigem os movimentos da embarcação nos três eixos, X,Y,Z (Figura 9). São compostos por três acelerômetros e três sensores de velocidade angular, os quais captam os movimentos da embarcação e utilizam filtros passa banda baixa e banda alta, fornecendo *pitch*, *roll*, *yaw* e *heave* corrigidos em grau (MANUAL SMC-108, 2010).

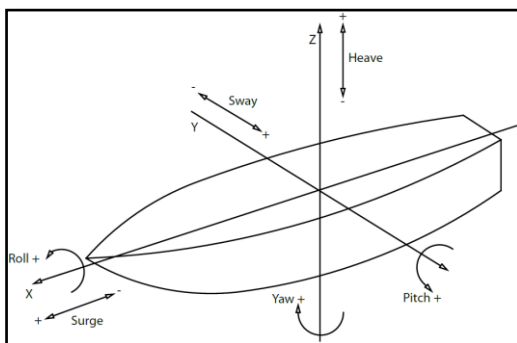


Figura 9: Movimentos associados à embarcação. Adaptado do manual SMC-108 (2010).

Todas as correções são realizadas simultaneamente ao processo de emissão e recepção do sinal pelos equipamentos geoacústicos, corrigindo todos os pontos ao longo de cada varredura, com exceção aos dados de maré e perfil da velocidade do som. Os dados de maré devem ser coletados simultaneamente a execução do L.H., por meio de marégrafos ou leitura de régua, enquanto que perfis deve ser obtidos a cada  $\frac{1}{2}$  hora, e/ou gradientes de profundidade acentuados (IHO, 1998; Manual EDGETECH 4600, 2012).

Outro ponto importante no L.H. é a relação entre espaçamento de linhas, profundidade e abertura do feixe. Isto depende da finalidade do L.H. e do tipo de equipamento. Os levantamentos hidrográficos são classificados de acordo com sua finalidade e profundidade, variando entre levantamentos de classe A e B. Os levantamentos classe A, tem como finalidade a atualização de cartas náuticas e consequentemente maior precisão e menor espaçamento entre linhas, enquanto que os de classe B não requerem tanta cobertura e precisão (NORMAN 25/DHN).

Geralmente o espaçamento entre linhas para L.H. varia de acordo com cada classe, sendo função da profundidade. Assim, a área de cobertura pode ser calculada em aproximadamente 2-3 vezes a profundidade, porém a possibilidade de abertura de ângulos maiores, como o caso do sistema interferométrico, pode-se chegar a 10 vezes a profundidade, dependendo da mesma. Logo quanto maior a profundidade, maior pode ser a abertura do feixe (IMCA, 2006; PRANZIN & LORENZO, 2013), diminuindo o tempo de levantamento.

### 3.8.1 - Patch test

Esta etapa pode ser considerada uma das a mais importante do L.H. É necessário para reduzir os erros de instalação do posicionamento do equipamento, nos três eixos X,Y e Z, com relação à embarcação e também o atraso entre a correção dos dados de GPS, *heading* e do sensor de movimento (IHO, 1998; IMCA, 2006; PRANZIN & LORENZO, 2013). Esta fornece a inclinação em graus para cada eixo, *roll* (X), *pitch* (Z), *yaw* (Y), e em segundos para latência.

#### 3.8.1.1 - Teste de latência

Está relacionado com o atraso da transmissão de dados de posição, *heading* e do sensor de movimento com relação aos dados de profundidade, e pode causar erros de posicionamento (Figura 10), caso não executado corretamente. Assim para calcular o tempo de atraso (latência) é necessário traçar uma linha de sondagem e sondá-la duas vezes na mesma direção, sendo uma em alta velocidade entre 6 e 7 nós, e outra em velocidade normal, entre 3 e 4 nós. Esta linha deve ser traçada sobre um fundo que apresente algum alvo, como rocha, tubulações ou mesmo uma declividade acentuada. Assim, se houver um deslocamento de posição do alvo, em relação à linha de sondagem sondada em diferentes velocidades, esta é corrigida, fornecendo um resultado em segundos (IHO, 1998). Atualmente, existem sistemas que não apresentam latência.

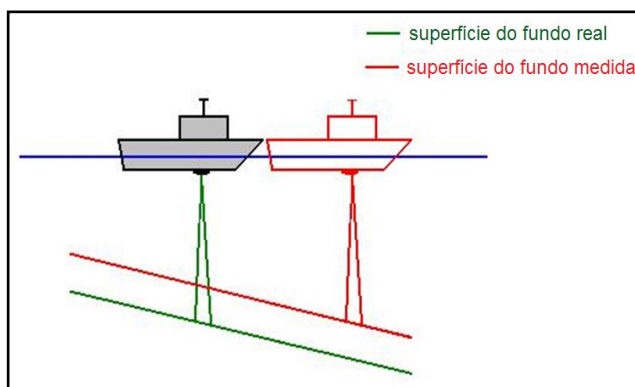


Figura 10: Teste de latência. Adaptado de Hypack® 2013.

### 3.8.1.2 - Teste *pitch*

Este é essencial para calcular o erro vertical (Figura 11) de alinhamento entre o equipamento geoacústico e a embarcação, podendo gerar erros de profundidade e posicionamento ao longo da área de varredura, caso não executado corretamente. Neste caso, uma só linha deve ser sondada em sentidos opostos com mesma velocidade, sendo necessário a presença de um alvo, como rocha, declividade ou tubulações (IHO, 1998).

Os erros associados ao *pitch* causarão erros verticais e horizontais, e pelo fato da área ensonificada geralmente estar abaixo da embarcação, o erro vertical é sempre maior (IHO, 1998).

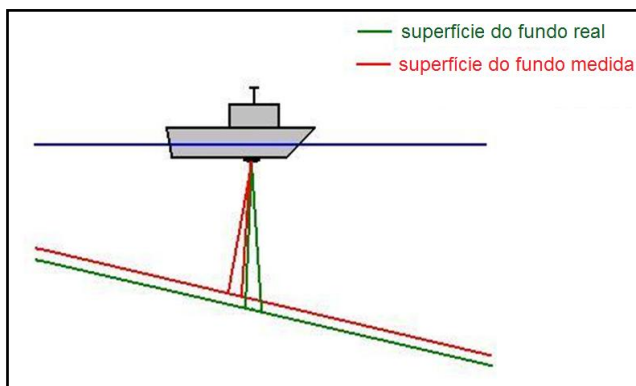


Figura 11: Teste *pitch*. Adaptado de Hypack 2013.

### 3.7.4.4 - Teste *roll*

É essencial para calcular o erro horizontal (Figura 12) de alinhamento entre o equipamento geoacústicos e a embarcação, podendo gerar erros de profundidade, caso não executado corretamente. Para este teste duas e/ou três linhas paralelas devem ser sondadas em sentidos opostos com mesma velocidade, e o leito deve ser plano (IHO, 1998).

Se a medida do *roll* apresentar erros, então a posição horizontal (*across track*) e vertical da sondagem também. Apenas os pontos próximos ao nadir terão o erro vertical próximo de zero, como no caso do *pitch* (IHO, 1998).

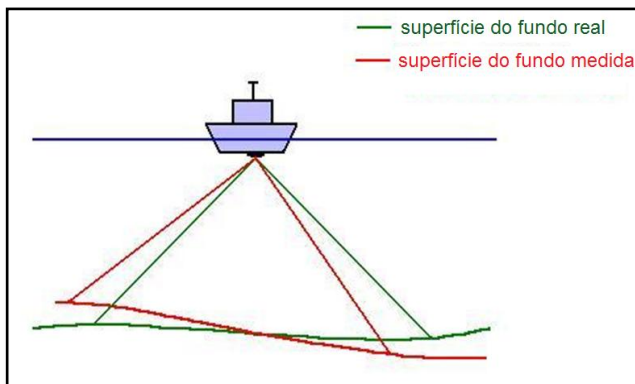


Figura 12: Teste roll. Adaptado de Hypack 2013 training notes.

#### 3.7.4.5 - Teste yaw

Este teste corrige o alinhamento horizontal (Figura 13) entre o equipamento geoacústico e a embarcação levando em consideração o azimute, e pode gerar erros horizontais, caso não executado corretamente. São necessárias duas paralelas, as quais devem ser sondadas em sentidos opostos, na mesma velocidade, e o leito deve apresentar uma declividade ou um afloramento (IHO, 1998).

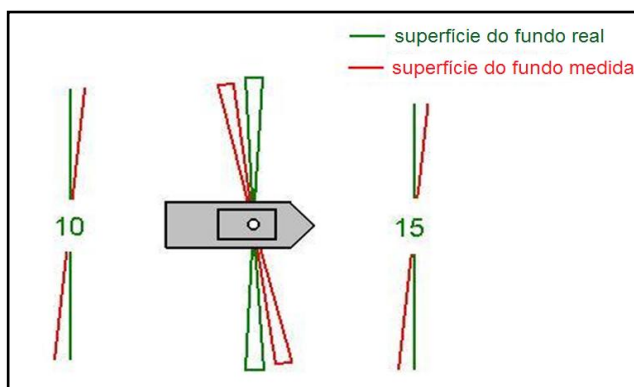


Figura 13: Teste yaw. Adaptado de Hypack 2013 training notes.

### 3.9 – PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGEM

De acordo com a literatura, três metodologias são mais utilizadas para extração das propriedades texturais e de reverberação, características de imagens de SVL, sendo elas, as estatísticas de 1º

ordem (tonalidade), 2º ordem (textura) e a Transformada de Fourier (FAKIRIS & PAPATHEODOROU, 2007; 2009).

Estatísticas de 1º ordem estão baseadas nas características de refletividade, fornecendo informações relacionadas com o histograma dos níveis de cinza de uma imagem. Mesmo que as imagens possam apresentar alguma discrepância, durante o pós processamento busca-se a homogeneização da imagem para o melhor reconhecimento dos diferentes padrões ou assinaturas acústicas.

Em geral, as estatísticas de 1º ordem consideradas são: média, desvio padrão e curtose, sendo a curtose o único destes parâmetros que pode ser considerada invariante, com relação às discrepâncias nas imagens de SVL, ou seja, mudanças de tonalidade e contraste, comum nestas imagens. Logo, média e desvio padrão não apresentam uma boa distinção, considerando as variações de tonalidade e contraste, quase que sempre presente nas imagens de SVL. Estes parâmetros são complementados pelo momento invariante de 3º ordem, extraído a partir de cálculos sobre momento central, e é considerado invariante para translação, rotação e mudanças na escala da imagem, assim aumentando o poder de distinção entre classes, visto a presença de variações nas características de intensidade de retorno do sinal (FAKIRIS & PAPATHEODOROU, 2007; 2009).

Matriz de Coocorrência de Níveis de Cinza (*GLCM*) é o método mais eficiente entre as estatísticas de 2º ordem. Proporcionam uma visualização clara das características texturais, através de propriedades estatísticas, mas necessitam de algumas condições antes de ser aplicada, como: distância do pixel mais próximo ( $d$ ); número de direções a serem analisadas ( $\theta$ ); tratamento destas direções (médio e máximo); tamanho da janela; número de recursos a serem utilizados (HARALICK, 1979; *GLCM TUTORIAL*).

As estatísticas mais comuns associadas às *GLCM* incluem: contraste, correlação, energia, entropia e homogeneidade. A matriz de coocorrência  $P(i,j,d,\theta)$  (Figura 14) para uma imagem, é uma função que expressa a frequência relativa de ocorrência de pares de pixels com valores de cinza  $i$  (linha) e  $j$  (coluna), em uma distância ( $d$ ), através de uma direção angular ( $\theta$ ). Essencialmente esta matriz se torna um histograma bidimensional do número de vezes que um par de valores de intensidade (*e.g.* níveis de cinza) ocorre, a uma dada distância ( $d$ ), em uma direção angular ( $\theta$ ) (HARALICK, 1979; *GLCM TUTORIAL*).

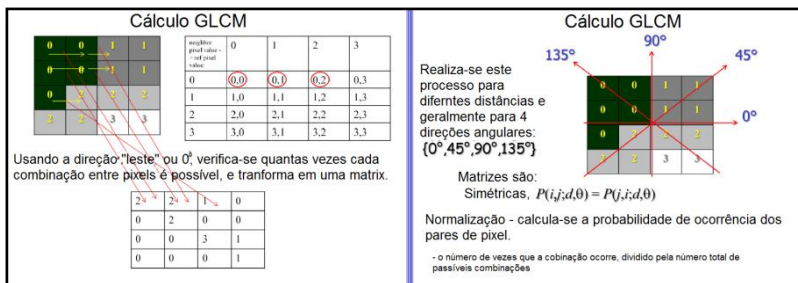


Figura 14: Matriz de Coocorrência de Níveis de Cinza (GLCM). Adaptado de The Glcm Tutorial.

Já as transformadas de Fourier, são extraídas principalmente pela aproximação do espectro de potência, sendo que esses espectros são difíceis de serem interpretados diretamente, porém, existem algumas propriedades texturais como 'direcionalidade' e espaçamento de elementos texturais, que acabam por serem menos complexas (GONZALES & WOODS, 2001).

A extração destas características do espectro de força (Fourier) indicam o comportamento direcional e como estão espaçados os elementos texturais e são consideradas essenciais, pois as estatísticas de 1º e 2º ordem não fornecem essas informações (GONZALES & WOODS, 2001).

Assim, a combinação dos três métodos tende a gerar um maior poder de distinção entre as classes presentes nas imagens de SVL, buscando desconsiderar ao máximo as discrepâncias, relacionadas a variações de contraste e textura, agrupando as classes semelhantes, mesmo quando apresentarem um padrão de resposta acústico um pouco diferente (FAKIRIS & PAPATHEODOROU, 2007; 2009).

No Quadro 2 seguem as descrições dos parâmetros estatísticos utilizados para processamento digital de imagens de SVL.

Quadro 2: Recursos estatísticos, fórmulas e suas descrições. Modificado de Fakiris & Papatheodorou (2007).

	Código	Variável	Descrição	Fórmula
Estatísticas GLCM	Cn	Contraste	Intensidade do contraste entre o pixel e seu vizinho. Valores menores indicam imagens homogêneas, enquanto valores maiores indicam imagens heterôgeneas, com grande variação.	$\sum_{i,j}  i-j ^2 p(i,j)$
	Cr	Correlação	Medida da correlação de um pixel com seu vizinho. Alta correlação resulta de imagens com texturas significativamente periódicas.	$\sum_{i,j} \frac{(i-\mu_i)(j-\mu_j)p(i,j)}{\sigma_i\sigma_j}$
	Er	Energia	Soma dos elementos quadrados na GLCM. Imagens homogêneas geram os maiores valores.	$\sum_{i,j} p(i,j)^2$
	Et	Entropia	Medida aleatória da textura da imagem.	$\sum_{i,j} p(i,j) \log p(i,j)$ (for $p(i,j) \neq 0$ )
	Hm	Homogeneidade	Medida da similaridade da imagem. Alto valor para sedimentos com baixa rugosidade, e baixo valor para alta rugosidade.	$\sum_{i,j} \frac{p(i,j)^2}{1+ i-j }$
Estatísticas dos Níveis de Cinza	Mn	Média	Média dos níveis de cinza da imagem.	Estatísticas de primeira ordem.
	Sd	Desvio Padrão	Desvio padrão dos níveis de cinza.	
	Kt	Curtose	Curtose dos níveis de cinza. Imagens com distribuição diferente de uma curva normal, apresentam altos valores.	
	Im	Momento invariante de terceira ordem	Medida baseada no momento central. É invariante para mudanças na escala, rotação e translação das imagens.	
2D FFT	Dr	"Direcionalidade"	Estimativa da tendência, regular ou não, de direcionalidade da textura das imagens. Imagens compostas por elementos lineares geram alta direcionalidade.	$\frac{\max(MF\hat{F}) - \min(MF\hat{F})}{std(F)}$
	Ts	Espaçamento Textural	Medida da distância que elementos texturais distintos tendem a apresentar entre eles na imagem.	$\max(MFd)$
<p>F: Espectro 2D FFT <math>\mu_i = \sum_j p_{i,j}</math></p> <p>MF0: Matriz com os valores médios do espectro 2D FFT da imagem em 30 direções (0° - 180°) <math>\mu_j = \sum_i p_{i,j}</math></p> <p>MFd: Matriz gerada pelos valores médios de 'n/2', localizados em círculos concêntricos a partir do centro do espectro, onde 'n' é o comprimento do espectro 2D, em pixels. <math>\sigma_i = \sum_j (i - \mu_j)^2 p_{i,j}</math></p> <p><math>p_{ij}</math>: Elementos das imagens da GLCM normalizada com coordenadas i, j. <math>\sigma_j = \sum_i (j - \mu_i)^2 p_{i,j}</math></p>				

## 4 - METODOLOGIA

### 4.1 – AQUISIÇÃO

#### 4.1.1 – Dados Sedimentológicos

Os dados sedimentológicos foram coletados em seis pontos distintos. Destas seis amostras, foram utilizadas apenas duas, visto a similaridade entre elas. As amostras estão localizados na plataforma continental interna do complexo praial Barra da Lagoa – Moçambique (Figura 33).



As amostras foram coletadas utilizando um amostrador de fundo do tipo *Van Veen* (Figura 15). Estas foram acondicionadas em sacos plásticos e identificadas, totalizando 2 amostras. Em seguida foram levadas para o Laboratório de Oceanografia Costeira (LOC) para análise.



Figura 15: Amostrador de sedimento do tipo Van Veen, bem como o sedimento coletado.

#### 4.1.2 – Dados Geoacústicos

Os dados geoacústicos, que consistem em batimetria e sonar de varredura e retroespalhamento. Foram adquiridos com um interferômetro EdgeTech® 4600, 540 kHz de frequência, acoplado ao bordo da embarcação (Figura 16D).

Este utiliza equipamentos periféricos, simultaneamente, como *DGPS/Heading* e sensor de movimento (MRU). Utilizou-se um *DGPS/Heading* Novatel FlexPack6, que possui duas antenas, as quais foram instaladas espaçadas 1,5 m entre si (Figura 16D); MRU SMC-108, instalado no centro de massa da embarcação e um perfilador acústico Digibar S.

A antena Novatel apresentou incertezas horizontal e vertical na ordem de 0,15 m e 0,25 m, respectivamente, utilizando correções Omnistar XP; e o MRU, 0,03° RMS para *pitch* e *roll*, e 5 cm ou 5% para *heave*.

Paralelamente, dados de maré foram coletados através de um marégrafo *Tide Ohmex*, para posterior correção, sendo que estes dados foram fornecidos pelo Laboratório de Oceanografia Costeira (LOC) – UFSC. Este foi instalado ao sul da área de estudo, na praia de Naufragados.

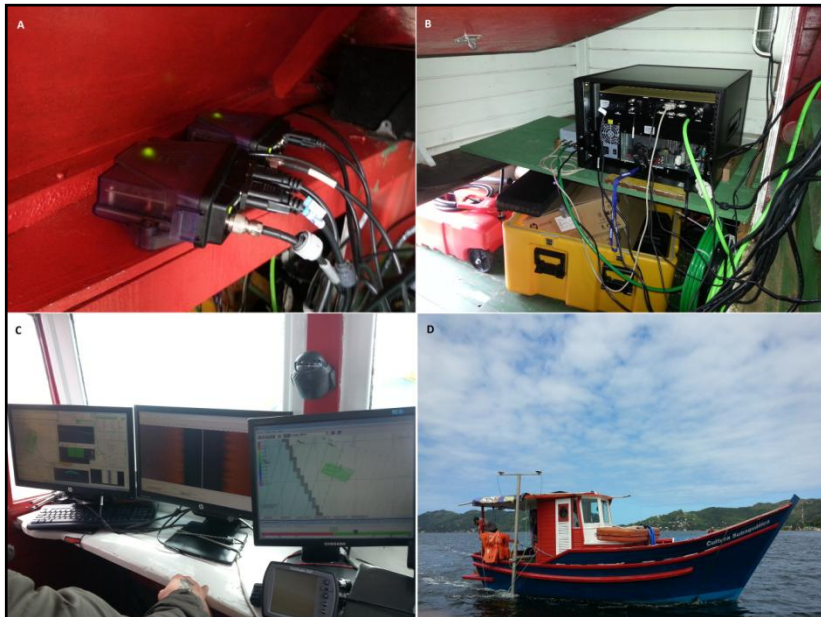


Figura 16: (A) Receptores DGPS/Heading; (B) *Top Side* e computador; (C) Telas de aquisição; (D) Interferômetro e antenas Novatel. Fonte: Autor.

Na Figura 17 apresenta-se um fluxograma exemplificando o passo a passo da aquisição dos dados.

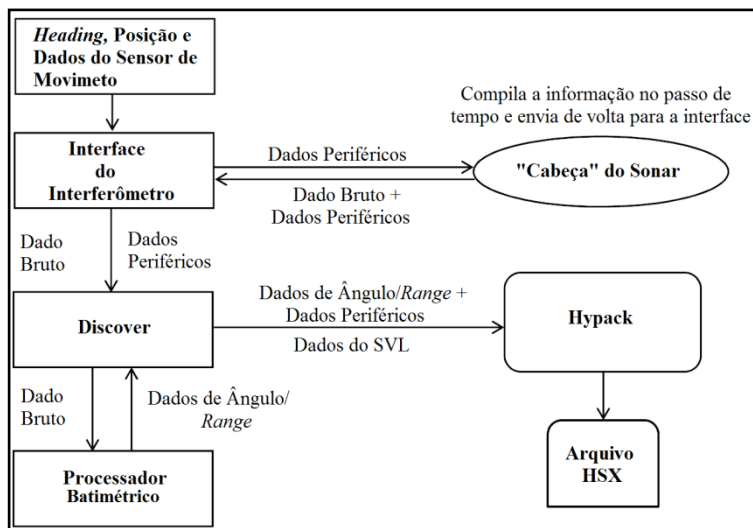


Figura 17: Fluxograma do processamento interno de aquisição de dados do interferômetro EdgeTech 4600. Modificado de Manual EdgeTech 4600.

Antes de iniciar o L.H., foi necessário medir o valor dos *off-sets* (Figura 18), referenciando os equipamentos com relação ao centro de massa da embarcação, onde o *MRU* foi instalado, e a linha d'água. Para isso aferiu-se a distância (*z*) em que o sonar foi instalado (abaixo da superfície), a distância deste e da antena primária (base), com relação ao sensor inercial (*MRU*), e as altura (*z*) da antena em relação ao *MRU*, e do *MRU* com relação à linha d'água (Figura 18).

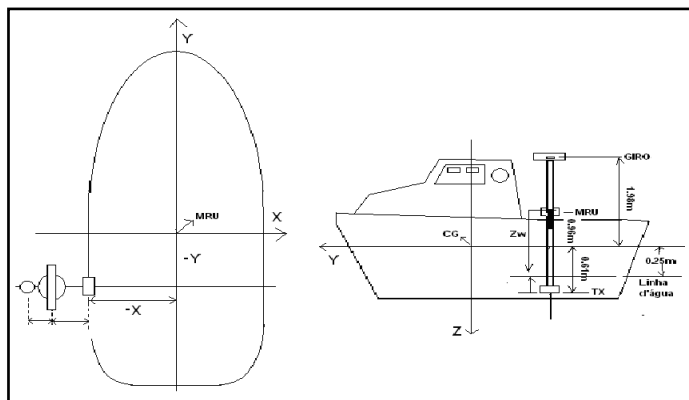


Figura 18: Demonstração das medidas dos *off-sets*. Adaptado de: Normam 25, apêndice J.

Com todo equipamento montado e referenciado, após a inserção dos *off-sets*, o *patch test* foi realizado. Abaixo, seguem imagens mostrando a diferença dos dados com e sem *patch test* (Figura 19), demonstrando a importância desta etapa.

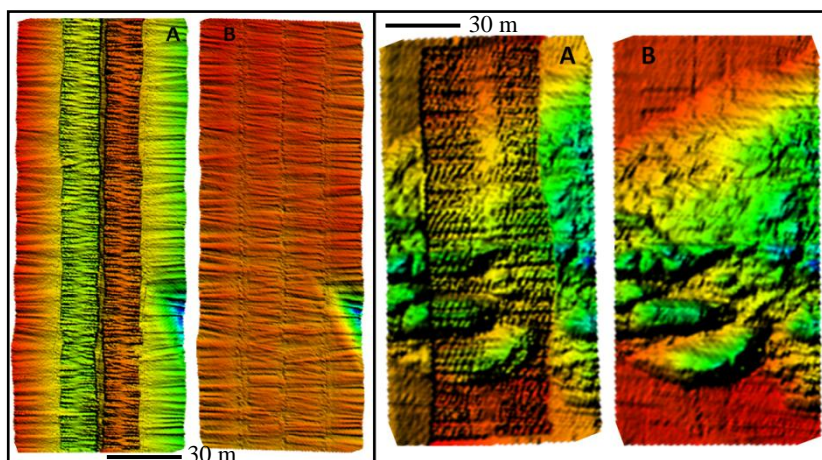


Figura 19: (A) Dados sem *patch test*; (B) Dados corrigidos com *patch test*.

Com o interferômetro referenciado e calibrado, o L.H. foi iniciado.

Utilizou-se o como sistema de referência o Datum WGS84, e como base cartográfica a carta náutica de número 1902, na escala de 1:100.000, disponível no site da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN).

As linhas de navegação foram planejadas com 100% de sobreposição, resultando então num espaçamento entre 3 a 4 vezes a profundidade local (Figura 20), levando em consideração um L.H. de ordem B.

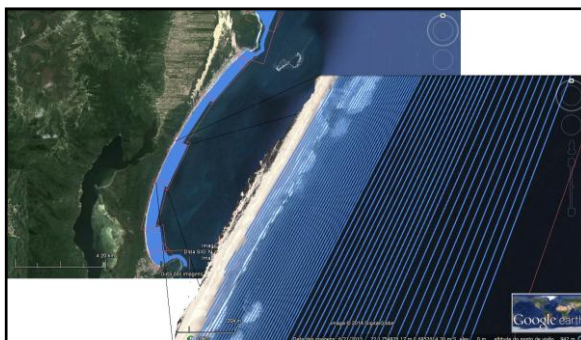


Figura 20: Espaço entre linhas, 3-4 vezes a profundidade.

Os dados batimétricos foram adquiridos com o programa Hypack 2013, enquanto que dados sonográficos através do programa Discover.

Assim, o total de dados adquiridos, cobriu uma área de 18 Km<sup>2</sup>, com um total de 415 km de linhas navegadas (Figura 21).

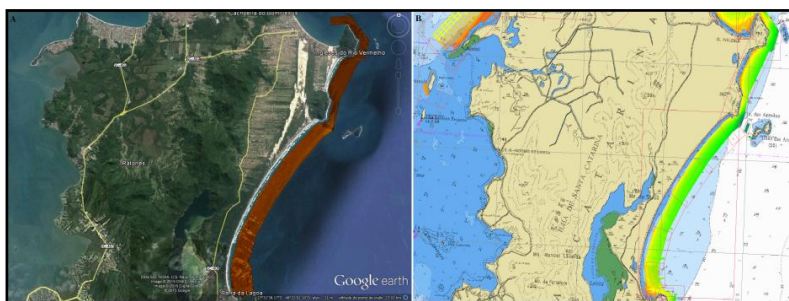


Figura 21: Total de dados adquiridos. (A) dados sonográficos; (B) dados batimétricos.

## 4.2 – PROCESSAMENTO

### 4.2.1 – Dados Sedimentológicos

O sedimento foi analisado quali e quantitativamente.

A análise qualitativa foi realizada através de imagens tiradas de um microscópio ótico, em um aumento aproximado de 20X.

Enquanto que a quantitativa, a análise granulométrica, foi realizada no analisador de partículas Horiba LA – 950. Este possui duas fontes de luz com diferentes comprimentos de onda, uma com 650 nm (vermelha) e outra com 405 nm (azul) e se baseia no princípio que o ângulo de difração, é inversamente proporcional à dimensão da partícula. Utiliza o método de difração a laser para isso (Manual Horiba LA-950, 2012).

Logo, este calcula o ângulo de dispersão da luz, a qual é convertida para o tamanho das partícula (Manual Horiba LA-950, 2012), fornecendo então os parâmetros estatísticos para classificação granulométrica das amostras.

### 4.2.2 – Dados Geoacústicos

#### 4.2.2.1 – Sonar de Varredura Lateral (SVL)

Os dados de saída do SVL possuem extensão no formato .JSF e foram processados no *software* SonarWiz (Figura 22).

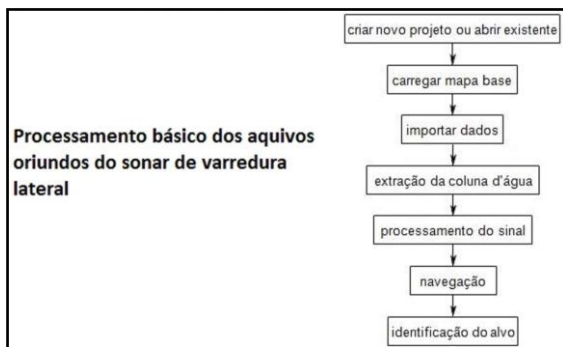


Figura 22: Fluxograma para processamento de imagens de sonar de varredura lateral (SVL). Modificado do manual do SonarWiz.

No *software* realizou-se a extração da coluna d'água (*bottom track*) (Figura 23), o sinal foi ajustado utilizando filtros como *Time Variation Gain* (TVG) e *User Gain Control* (UGC), dependendo da necessidade de cada arquivo, buscando homogeneizar a imagem, sem tirar as características referentes a cada tipo de refletor. Também foi



medido o comprimento das feições, quando presentes nos registros, e então o mosaico foi exportado no formato Geo-Tiff, com resolução de 0,25 cm/pixel.



Figura 23: (A) Imagem com coluna d'água (sem *bottom track*); (B) Imagem sem coluna d'água (com *bottom track*).

#### 4.2.2.1.1 – Classificação das Imagens de SVL

Após o processamento das imagens do SVL e a verificação de diferentes respostas ou assinaturas acústicas, as quais estão relacionadas com as impedâncias de cada tipo de refletor, optou-se por realizar esta classificação, buscando validar os resultados, indiretamente, ou seja, associar o padrão de resposta com seu respectivo sedimento. O objetivo foi visualizar/compreender o padrão de distribuição dos tipos de substrato e feições associadas com suas respectivas respostas acústicas,

gerando uma classificação geral do leito marinho, em relação a sua composição.

Para isso, utilizou-se o *software* SonarClass, desenvolvido em ambiente Matlab® (FAKIRIS & PAPATHEODOROU, 2007; 2009). Este utiliza três algoritmos para reconhecimento do padrão de resposta ou assinatura acústica, nomeados: as estatísticas de 1º ordem (tonalidade), 2º ordem (textura) e a Transformada de Fourier (FFT), totalizando 11 descritores (Figura 24) (FAKIRIS & PAPATHEODOROU, 2007).

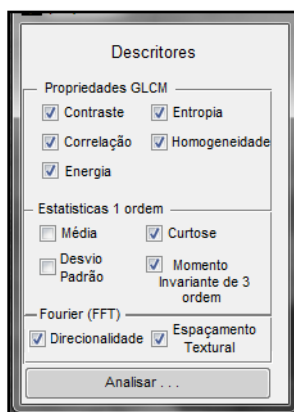


Figura 24: Parâmetros estatísticos selecionados para classificação das imagens de SVL.

O processo de reconhecimento dos padrões de resposta acústica para cada feição envolveu cinco passos principais: 1- seleção manual de um número de imagens para cada classe que se deseja classificar (amostras de treinamento); 2- extração de um grande número de descritores de 1º e 2º ordem para cada amostra, bem como FFT; 3- seleção automática da combinação dos parâmetros que promovem a melhor distinção entre as assinaturas acústicas; 4- extrapolação destes parâmetros a partir de sub-regiões para a imagem toda; 5- classificação supervisionada ou não supervisionada da imagem.

Basicamente, os passos 1-3 correspondem ao módulo de calibração, enquanto 4-5, classificação.

Este processo foi realizado de uma maneira supervisionada e não supervisionada, sendo que na classificação não supervisionada o usuário não possui autonomia para determinar quais são as classes, apenas o número delas.



Foram testados três tamanhos de amostras de classificação para treinar o classificador, sendo uma com tamanho de 29 X 29, outra 59 X 59 e por último 99 x 99 pixels (Figura 25).

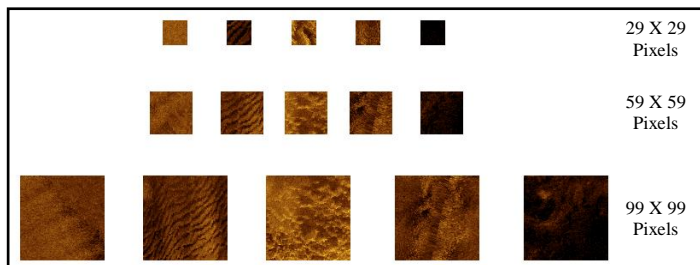


Figura 25: Amostras de treinamento em ordem crescente do topo para base.

O tamanho de amostra que apresentou o melhor desempenho, proporcionando o classificador distinguir as diferenças entre as distintas classes foi a menor, de 29 X 29 pixels. As classes criadas foram: sedimento muito fino, sedimento fino, sedimento grosso, rocha e ruído, sendo que nem sempre todas as classes estavam presentes nas imagens, porém, quando presentes, foram identificadas.

Com isso, os recursos estatísticos que apresentaram a melhor distinção entre classes, de acordo com o teste de calibração foram: correlação, entropia e momento invariante de 3º ordem, com seus valores médios, nas oito direções angulares (Figura 26). Assim, todas as imagens de SVL foram classificadas através destes descritores, em uma escala geral.

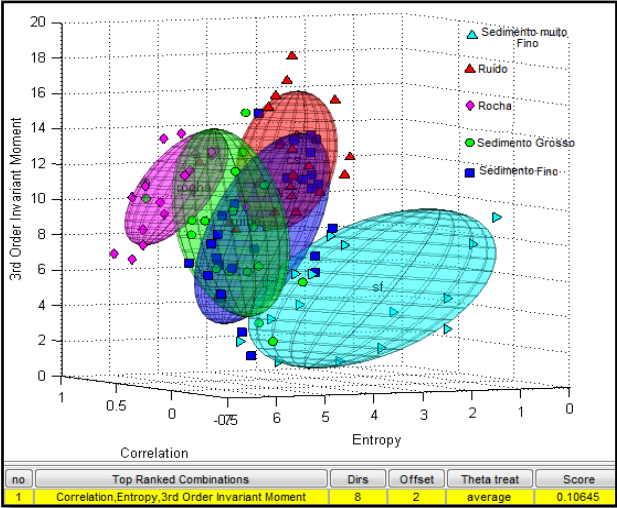


Figura 26: Classes geradas pelos descritores, sendo correlação, entropia e momento invariante de 3º ordem os descritores que apresentaram o maior poder de distinção entre classes.

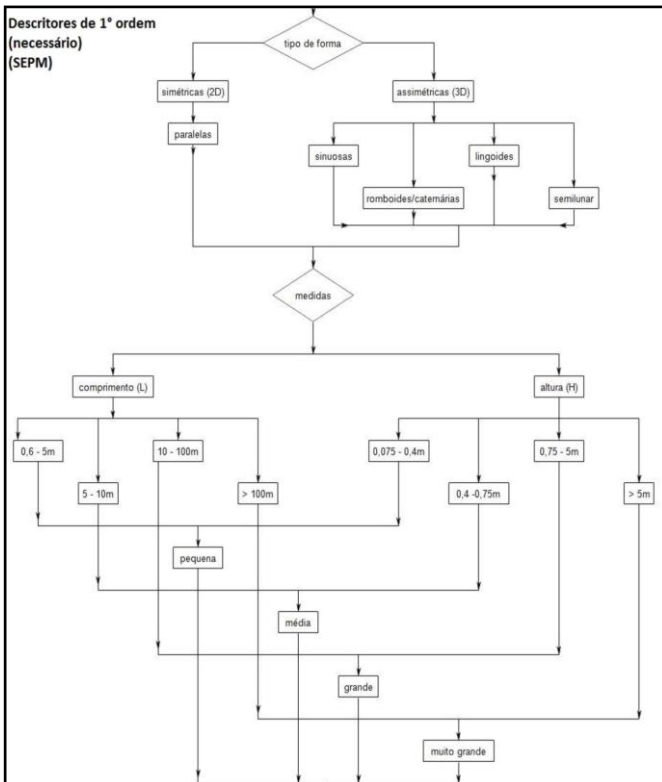
Após definido os melhores recursos para classificar as imagens, passou então para o módulo de classificação, supervisionada e não supervisionada, finalizando este processo.

4.2.2.1.2 – Identificação e classificação das formas de leito

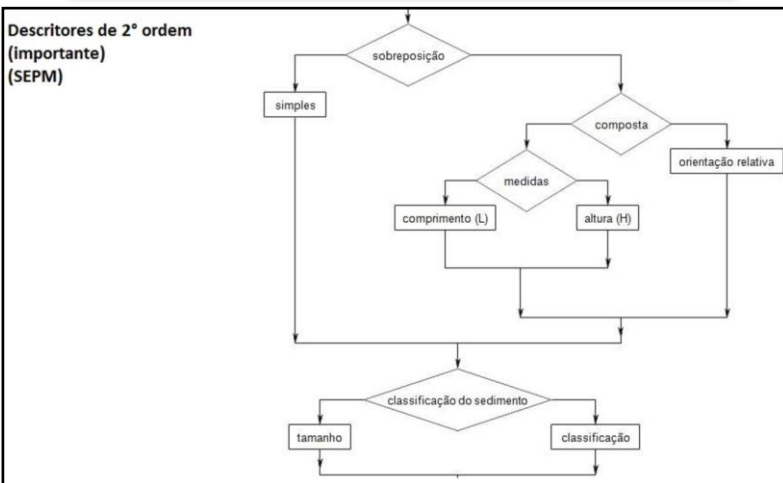
Para classificação das formas de leito identificadas nas imagens de SVL, utilizou-se o padrão adotado pela Sociedade de Geologia Sedimentar (*SEPM*), de acordo com Ashley (1990) e também o definido por Short (1999).

Para fins práticos e didáticos optou-se por transformar o Quadro 1 em um fluxograma (Figura 27), além da elaboração de um catálogo autoexplicativo (Figura 28), auxiliando na classificação das formas de leito existentes, o qual mostrou ser um complemento de grande valia.

**Descritores de 1º ordem  
(necessário)  
(SEPM)**



**Descritores de 2º ordem  
(importante)  
(SEPM)**



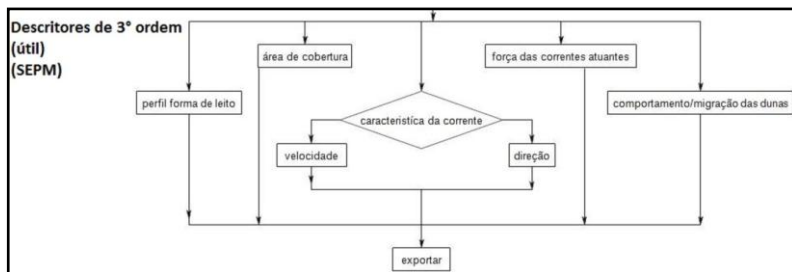


Figura 27: Fluxogramas para classificação das formas de leito.

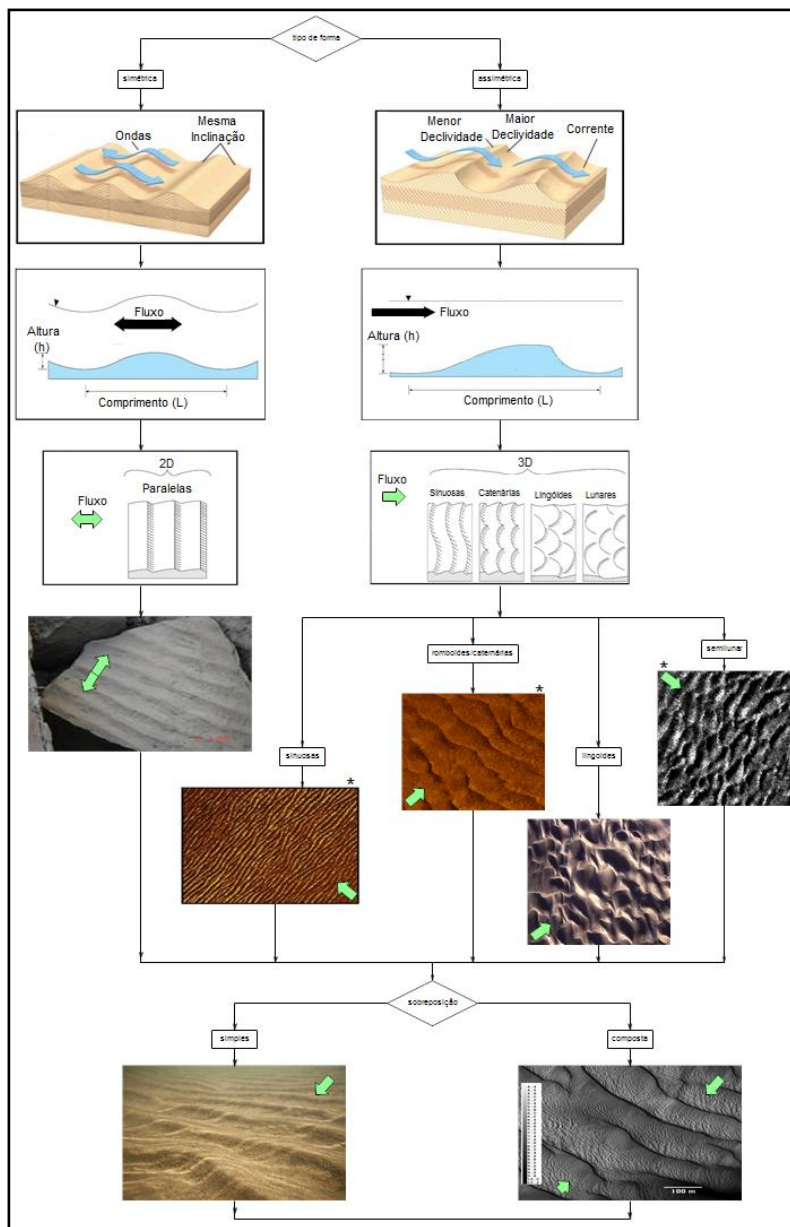


Figura 28: Catálogo elaborado para auxiliar na identificação das formas de leito. Adaptado de <http://www.brocku.ca/sedimentology/SedNotes/Chap5>. (\*) Feições identificadas pelo autor, presentes na área de estudo.

Também foi mensurada as distâncias entre cristas e entre cristas e cavas, para classificação das feições com relação ao comprimento e altura. O comprimento das feições foi calculado através do programa SonarWiz, enquanto que a altura através do Hypack, sendo extraída do perfil da feição. Na figura 29 A e B apresenta-se um exemplo de como as medidas de altura e comprimento foram extraídas, respectivamente.

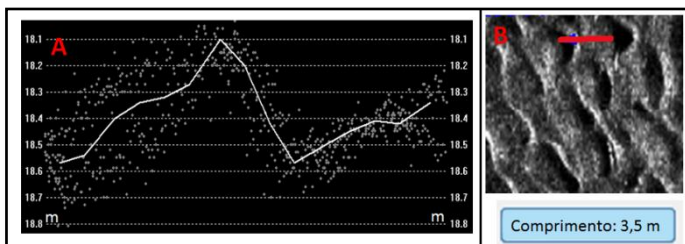


Figura 29: (A) Altura; (B) Comprimento.

#### 4.2.2.2 - Batimetria

O processamento da batimetria foi realizado no programa HYPACK® 2013, concluído em três estágios (Figura 30). O primeiro passo foi carregar os dados batimétricos junto com os dados de maré e perfis de velocidade de som. Após esta correção, erros oriundos do processo de aquisição foram extraídos e então, os dados foram exportados.

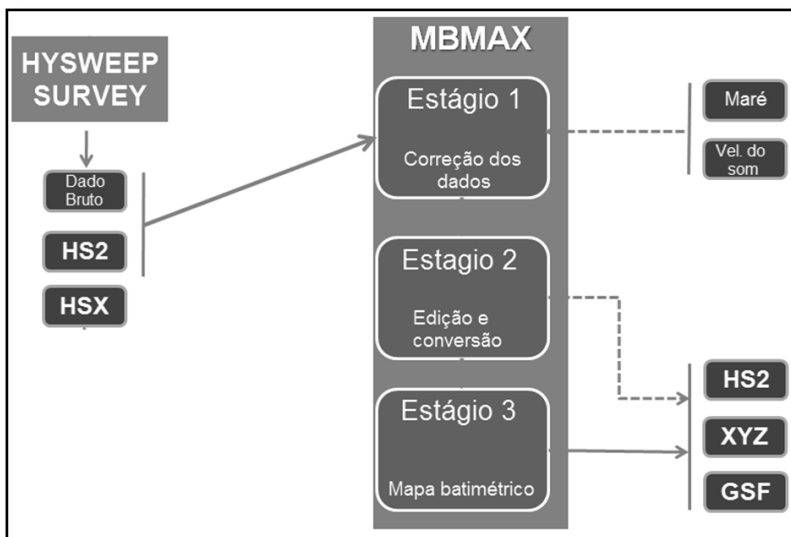


Figura 30: Fluxograma do processamento de dados batimétricos. Adaptado de Hypack® 2013 training notes.

### 1º Estágio

Neste estágio foram inseridos os perfis de velocidade do som na água (Figura 31A) e os valores medidos de maré (Figura 31B).

Desta maneira todas as linhas sondadas foram corrigidas de acordo com a respectiva hora, combinando maré e velocidade do som. Visando assim, aumentar a precisão da velocidade de propagação do som na água bem como a correção vertical, associada à variação da maré.

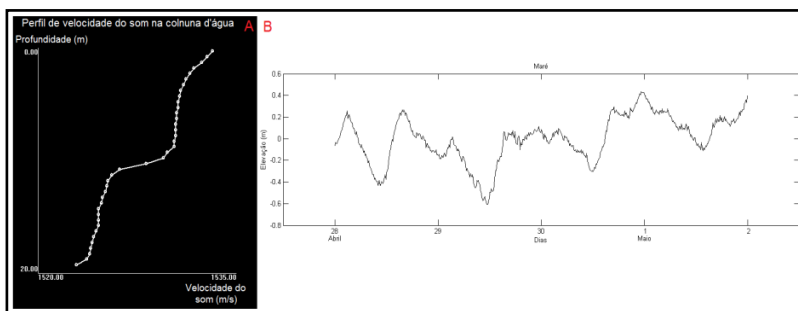


Figura 31: (A) Exemplo de um perfil de velocidade do som na água; (B) Exemplo de variação de maré ao longo de 5 dias.

## 2º Estágio

Os arquivos então corrigidos foram editados, eliminando erros durante a aquisição (*spikes*), ou também conhecidos como dados espúrios (Figura 32). As maiores fontes de *spikes* foram encontradas tanto na extremidade do feixe quanto no nadir, características da interferometria.

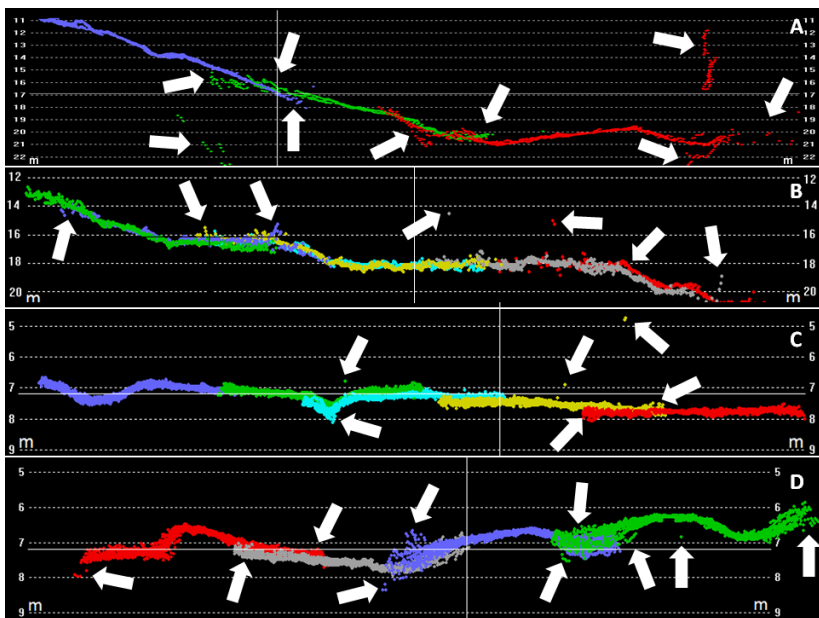


Figura 32: Perfis batimétricos demonstrando os dados espúrios, bem como o maior ruído associados ao nadir e a extremidade do feixe.

## 3º Estágio

Nesta etapa as linhas foram agrupadas e então exportadas em arquivos XYZ, sendo latitude (X), longitude (Y) e cota (Z), para posterior interpolação. Os dados foram exportados em grades com resolução de 0,25 m em áreas que apresentavam formas de leito e/ou outras feições, e entre 0,5 - 1,0 m à medida que aumentava a profundidade ou não havia mais presença de formas de leito e/ou outras feições. Esta opção foi utilizada buscando diminuir o esforço computacional, visto o tamanho dos arquivos gerados (*e.g.* 10 *giga byte*), porém sem perder a resolução.



Também, foram exportados os arquivos de retroespalhamento para posterior interpolação. Estes possuem o mesmo formato do arquivo XYZ de batimetria, porém ao invés do ‘Z’ se referir à cota, o mesmo é referente ao valor de intensidade do retorno do sinal.

Devido à densidade e configuração dos dados, ou seja, a grande quantidade de pontos muito próximos, as técnicas de interpolação não apresentaram diferenças significativas.

Por isso, foi utilizada a técnica do vizinho mais próximo, em função da configuração da grade, visto o melhor desempenho deste interpolador para dados igualmente espaçados (Manual Surfer, 2013).

#### 4.2.2.3 – Integração de Dados Geoacústicos (3D)

A integração dos dados geoacústicos visa gerar um modelo digital batimétrico, análogo a um modelo digital de terreno. Desta maneira, uniu-se os dados batimétricos, de morfologia em três dimensões, com os dados sonográficos, imagem em duas dimensões, gerando um modelo digital batimétrico, em três dimensões. Este processo apresentou uma limitação computacional, devido a quantidade de pontos batimétricos e o tamanho das imagens de SVL, sendo realizado apenas em algumas áreas específicas.

## 5 – RESULTADOS, DISCUSSÃO E CONSIDERAÇÕES

### 5.1 – BARRA DA LAGOA - MOÇAMBIQUE

#### 5.1.1 – Sonografia

Nas imagens de SVL para o complexo praial Barra da Lagoa - Moçambique (Figura 33) é possível visualizar diferenças na intensidade do retorno do sinal acústico, principalmente do centro para o sul da área. Algumas vezes associado ao ruído gerado pelos movimentos da embarcação, mas principalmente, pela presença de diferentes tipos de refletores (sedimento).



Figura 33: Sonografia para o complexo praial Barra da Lagoa - Moçambique, mostrando a presença da RSD ou SB e pontos de coleta de sedimento. Onde alto reflete um retorno acústico mais intenso e baixo, um retorno acústico menos

intenso. (Imagens Aéreas: Secretaria de Desenvolvimento Sustentável de Santa Catarina).

Esta diferença na intensidade do retorno do sinal, identificada nas imagens de SVL, são feições denominadas *Rippled Scour Depressions* (CACHIONE *et al.*, 1984) ou *Sorted Bedforms* (MURRAY & THIELLER, 1994).

As feições encontradas na plataforma continental interna e antepaia do complexo praial Barra da Lagoa - Moçambique estão na ordem de 5 – 450 metros de largura e 10 – 900 metros de comprimento, orientadas perpendicular à linha de costa (Figura 33), e estão de acordo com outras feições identificadas ao redor do globo (PORPILHO *et al.*, 2015).

As manchas mais brilhantes consistem em uma resposta acústica mais intensa e indicam a presença de um sedimento mais grosso com maior rugosidade; e a área escura e predominante, consiste em uma resposta acústica menos intensa, indicando a presença de sedimentos mais finos, com menor rugosidade (CACHIONE *et al.*, 1984; MURRAY & THIELLER, 2004; BELLEC *et al.*, 2010; GUTIERREZ *et al.*, 2005; TREMBANIS & HUME, 2010; PORPILHO *et al.*, 2014).

Para verificação da composição do leito e consequentemente da feição, SB, foram coletadas amostras (Figura 33) dentro (RAG\_2) e fora (RAF\_1) da depressão com retorno acústico mais intenso.

A amostra coletada dentro da depressão (RAG\_2) (Figura 33) possui mediana de 1 mm (Figura 34) e é composta por areia média a muito grossa e pequenos fragmentos carbonáticos (Figura 35). Fora da depressão (RAF\_1) (Figura 33), a mediana é de 0,2 mm (Figura 34), e é composta apenas por areia muito fina a média (Figura 35). Desta forma, as amostras coletadas dentro e fora da depressão são classificadas como areia grossa e fina, respectivamente, mostrando a composição bimodal do leito nesta área, mesmo que nem sempre exposto.

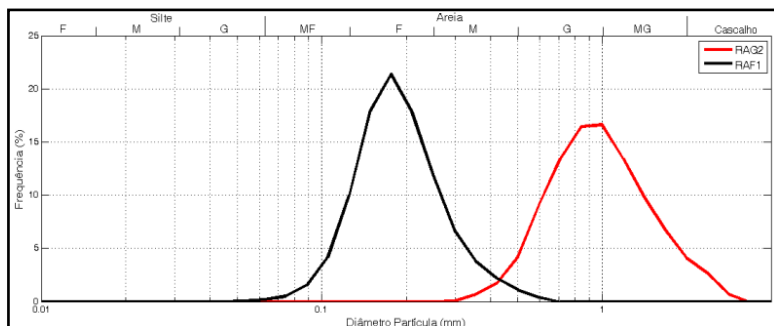


Figura 34: Histograma das amostras de sedimento, RAG\_2 e RAF\_1.

A composição da amostra coletada dentro da depressão indica o aumento da rugosidade em função do aumento do tamanho de grão e da presença de marcas onduladas, refletindo a maior impedância acústica. Já a composição da amostra coletada fora da depressão indica a menor rugosidade, a qual permite a sedimentação das partículas finas, e reflete uma menor impedância acústica.

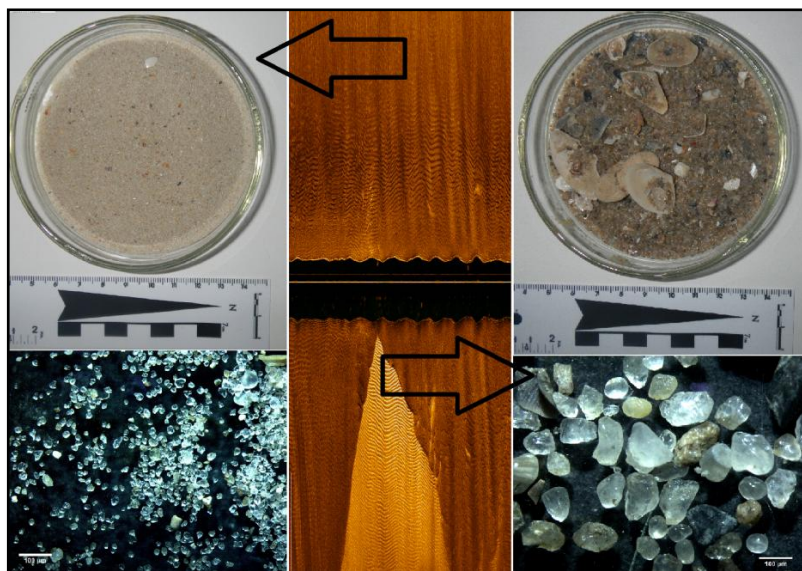


Figura 35: Relação entre tamanho da partícula, contraste da imagem e formas de leito. Aumento na ordem de 20X. Modificado de Porpilho *et al.* (2014).

Na plataforma continental interna e antepraia do complexo praial Barra da Lagoa – Moçambique, a diferença de contraste nas imagens de SVL está relacionada com os diferentes tipos de sedimento que compõem o leito e caracterizam a feição, SB (Figura 35). Esta é caracterizada pela presença de sedimento grosso dentro da depressão e fino, fora.

Dentro das depressões, com resposta acústica mais intensa estão presentes formas de leito assimétricas, sinuosas, com comprimento de onda entre 0,70 – 1,20 metros e altura entre 0,30 – 0,60 m, paralelas à linha de costa (Figura 36A). Enquanto que foras destas manchas, na área mais escura e predominante, foram encontradas a presença aleatória de formas de leito assimétricas, sinuosas, com comprimentos de onda entre 0,50 – 1,00 metro e altura entre 0,20 – 0,40 metros (Figura 36B) (PORPILHO *et al.*, 2014). Principalmente na parte mais rasa, entre 3 – 5 metros, o que pode indicar a formação destas marcas onduladas pela interação do movimento orbital da onda com o leito, em ambas, tanto dentro quanto fora das manchas.

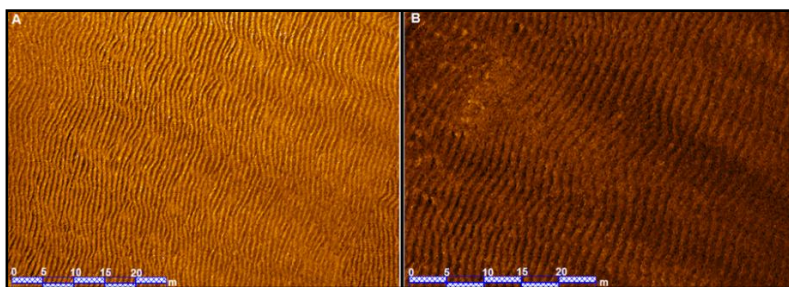


Figura 36: (A) Marcas onduladas dentro da depressão; (B) Marcas onduladas fora da depressão.

Visto que sedimentos mais grossos e marcas onduladas maiores aumentam a rugosidade e acabam por inibir a sedimentação de partículas finas, estas acabam por depositarem em áreas com menor turbulência.

O resultado da coleta de sedimento para a plataforma continental interna e antepraia do complexo praial está de acordo com a afirmação acima. Pelo fato da composição destas amostras, dentro e fora da depressão, é notado o aumento da rugosidade pelo tamanho do grão e/ou a presença das marcas onduladas, reforçando a teoria do processo ‘auto seletivo’ como a razão da formação, evolução, destruição e

manutenção da feição SB, desenvolvido por Murray & Thieller, 2004), sem descartar a influência dos processos hidrodinâmicos como gatilho (VAN OYEN, 2011).

Foram primeiramente identificadas por Cachione *et al.* (1984) e associadas a correntes através da costa, enquanto que Murray & Thieller (1994) associaram a correntes paralelas a costa.

Murray & Thieller (1994), iniciaram com a hipótese de que estas feições estão relacionadas a uma resposta de um processo auto seletivo, gerado pelo próprio sedimento, sendo denominado ‘processo de auto-organização’, considerando este mais significativo que a interação entre fluxo e batimetria. Estes autores se referem a esta feição como sendo parte de uma feição maior ainda, e não simplesmente uma depressão. Coco *et al.*, 2007 e Goldstein *et al.*, 2011 vão na mesma linha.

Goldstein *et al.*, 2011 mostrou a relevância desta hipótese, simulando inúmeras combinações entre transporte de sedimento de partículas fina e grossa, por tração e suspensão, tamanhos de onda e direção e intensidade de correntes, bem como déficit e aporte sedimentar.

O modelo demonstrou que a formação, evolução, persistência, destruição e auto-organização desta feição está relacionada com a rugosidade que o sedimento grosso e/ou a presença de formas de leito causam, assim, inibindo as partículas finas de depositarem, sendo o processo de ‘auto-organização’. Também demonstrou que durante eventos extremos, as formas de leito dentro da depressão tendem a ser ‘lavadas’, e a diferença de profundidade entre a depressão e o leito adjacente a diminuir, colocando em suspensão partículas grossa e fina, forçando então as partículas finas a depositarem em determinadas áreas, menos turbulentas. Após a passagem da tempestade, com o tempo, as formas de leito dentro da depressão tendem a voltar para o estagio pré-tempestade ou bem próximo (GOLDSTEIN *et al.*, 2011).

Então, ‘o processo que gera este padrão espacial e temporal intermitente é autogênico, resultado da dinâmica interna e não de uma forçante externa’ (GOLDSTEIN *et al.*, 2011). Visto que o termo *Sorted Bedform* está bem explicado, e as feições encontradas na plataforma continental interna e antepraia do complexo praial Barra da Lagoa – Moçambique apresentam características semelhantes, bem como as forçantes, o mesmo será utilizado para se referir a estas feições.

Estas feições só ocorrem em ambientes que apresentam uma composição bimodal de sedimento com a combinação certa de ondas e

correntes, principalmente em costas com déficit sedimentar. (MURRAY & THIELLER, 2004).

Diferente da afirmação de Murray & Thieller (1994), é provável que a interação fluxo e batimetria exerça um papel importante, pelo menos para o início do processo de ‘auto-organização’ (VAN OYEN, 2011).

Logo, visto que a plataforma continental interna e antepraia apresentaram uma composição bimodal (areia grossa e areia fina) bem como correntes longitudinais à linha de costa (PORPILHO *et al.*, 2015) fatores considerados determinantes para o desenvolvimento e manutenção destas feições, as mesmas foram classificadas como *Sorted Bedforms*.

Além disso, a parte emersa, o pós-praia, também apresentou uma característica bimodal (Figura 37), sendo possível observar a sequência deposicional de areia fina, grossa e minerais pesados, cima para baixo.

Tanto esta sequência deposicional quanto as marcas onduladas preservadas no contato entre a areia grossa e fina (Figura 37) indicam uma alta hidrodinâmica no momento da deposição deste material, bem como a presença deste sedimento grosso ao longo de todo o complexo praial, desde a plataforma continental interna até o pós-praia.





Figura 37: Seção vertical do pós-praia do complexo praial Barra da Lagoa - Moçambique, mostrando a presença de sedimento fino, grosso e minerais pesados, de cima para baixo, indicando a presença de uma composição bimodal.  
Fonte: Autor.

### 5.1.2 – Retroespalhamento (*Backscatter*)

O resultado fornecido pelo retroespalhamento para a plataforma continental interna e antepraia da Barra da Lagoa – Moçambique foi muito semelhante ao das imagens de SVL, porém com menor resolução, não sendo possível a identificação das marcas onduladas, presentes nas depressões compostas por areia grossa. A diferença de sedimento (refletores) ficou bem visível, mostrando o retorno mais intenso da areia grossa, se comparada com a areia fina e predominante (Figura 38).



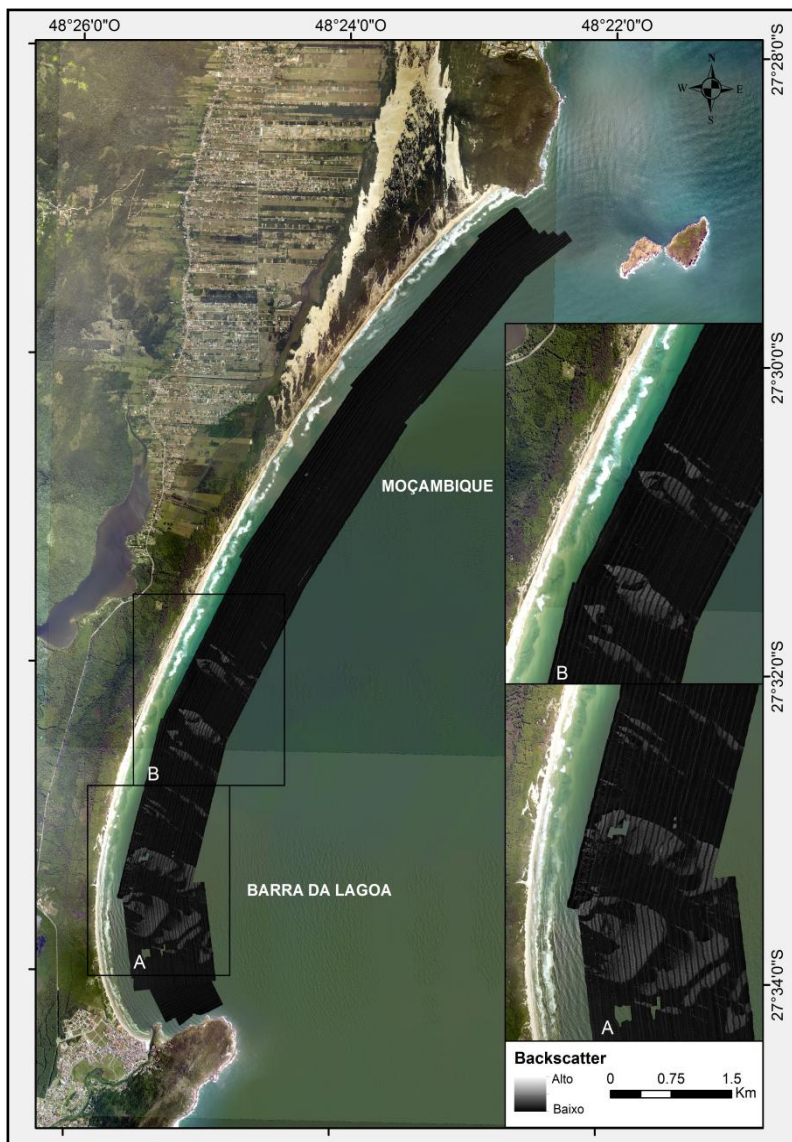


Figura 38: Retroespalhamento para Barra da Lagoa - Moçambique, mostrado a presença de diferentes tipos de substrato, areia grossa e fina. Onde alto reflete um retorno acústico mais intenso e baixo, um retorno acústico menos intenso. (Imagens Aéreas: Secretaria de Desenvolvimento Sustentável de Santa Catarina).

A informação fornecida pelo retroespalhamento foi considerada de grande valia, pois quando comparada com as imagens de SVL, forneceram uma maior confiabilidade na afirmação sobre a presença de diferentes tipos de sedimento. Isto, levando em consideração a não disponibilidade de amostragem direta, visto que cada sedimento possui sua respectiva impedância acústica, ou sua característica do retorno do sinal.

Quando o objetivo é a classificação do habitat ou a composição do leito, utilizar apenas imagens de SVL pode não ser o suficiente pelo fato da atenuação do sinal acústico durante o processo de ida e volta do sinal (*TWTT*), pela presença de refletores na coluna d'água, ambientes muito rasos com retorno muito intenso, entre outros. E, quando não possível a realização de amostragem direta, para validar as imagens de SVL, a utilização do retroespalhamento mostrou ser uma ferramenta muito eficiente.

Logo, visando à caracterização e/ou classificação do habitat ou leito marinho através de métodos indiretos, a combinação entre imagens de SVL e retroespalhamento, se mostram complementares, aumentando a confiabilidade na afirmação sobre os tipos de sedimentos (refletores) que compõem o leito, quando não disponível a amostragem direta.

### **5.1.3 – Classificação das imagens de SVL**

Foi realizada a classificação supervisionada (Figura 39A) e não supervisionada (Figura 39B).

Para o complexo praiar Barra da Lagoa – Moçambique, os resultados obtidos foram bem satisfatórios, se comparados com outros classificadores disponíveis, visto que o SonarClass reconheceu os dois diferentes refletores, sendo a areia grossa e a fina. Além disso, foi necessário a criação de uma terceira classe, denominada ruído/nadir, visto que esta apresentou padrão de resposta que pôde ser confundido com as duas classes presentes na imagem. Logo, com a criação desta terceira classe, o classificador apresentou um resultado bem condizente com as imagens, se mostrando uma ótima ferramenta, relacionado a classificação e ou caracterização de *habitats* ou leito marinho, indiretamente.

Uma diferença observada entre as duas classificações está na detecção do ruído/nadir. Na classificação supervisionada, a qual o usuário tem o poder de distinção, esta classe foi menos relevante. Enquanto na classificação não supervisionada, a qual o usuário apenas pode controlar o número de classes, o ruído/nadir teve mais relevância.

Logo, neste caso, a classificação supervisionada apresentou o melhor resultado, quando comparadas.

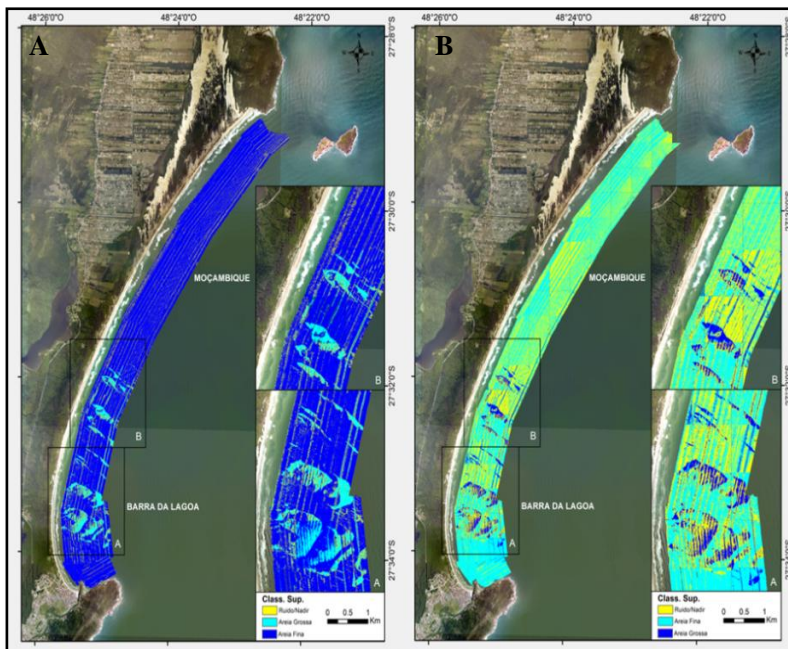


Figura 39: (A) Classificação supervisionada; (B) Classificação não supervisionada. (Imagens Aéreas: Secretaria de Desenvolvimento Sustentável de Santa Catarina).

Com os resultados obtidos também seria possível afirmar a presença dos diferentes tipos de sedimento que compõem o leito, fato que expõe a importância da utilização de métodos geoacústicos na caracterização de ambientes submersos rasos.

Consequentemente, outra maneira de validar indiretamente os resultados obtidos com as imagens de SVL é sua classificação supervisionada e não supervisionada.

Esta metodologia apresentou resultados satisfatórios, porém com algumas limitações, visto que na maioria das vezes as imagens apresentaram algumas discrepâncias, relacionadas aos movimentos da embarcação, baixa profundidade, refletores na coluna d'água, nadir, entre outros. Assim, um mesmo tipo de substrato pode apresentar

diferentes padrões de resposta acústica, e estes podem ser associados pela ‘semelhança’ com outro tipo de sedimento/classe, confundido assim o classificador. Porém, na falta do retroespalhamento, e da amostragem direta, esta metodologia pode fornecer resultados significativos, se utilizada corretamente.

Esta ferramenta mostrou-se muito útil, principalmente quando se refere à águas profundas, onde o acesso para amostragem direta apresenta graus de dificuldade muito superiores, se comparado com águas rasas.

#### **5.1.4 – Batimetria**

Através da batimetria de varredura (Figura 40) foi possível notar que as isóbatas se apresentam paralelas à linha de costa, com a presença de uma área mais rasa ao sul, associada ao costão.

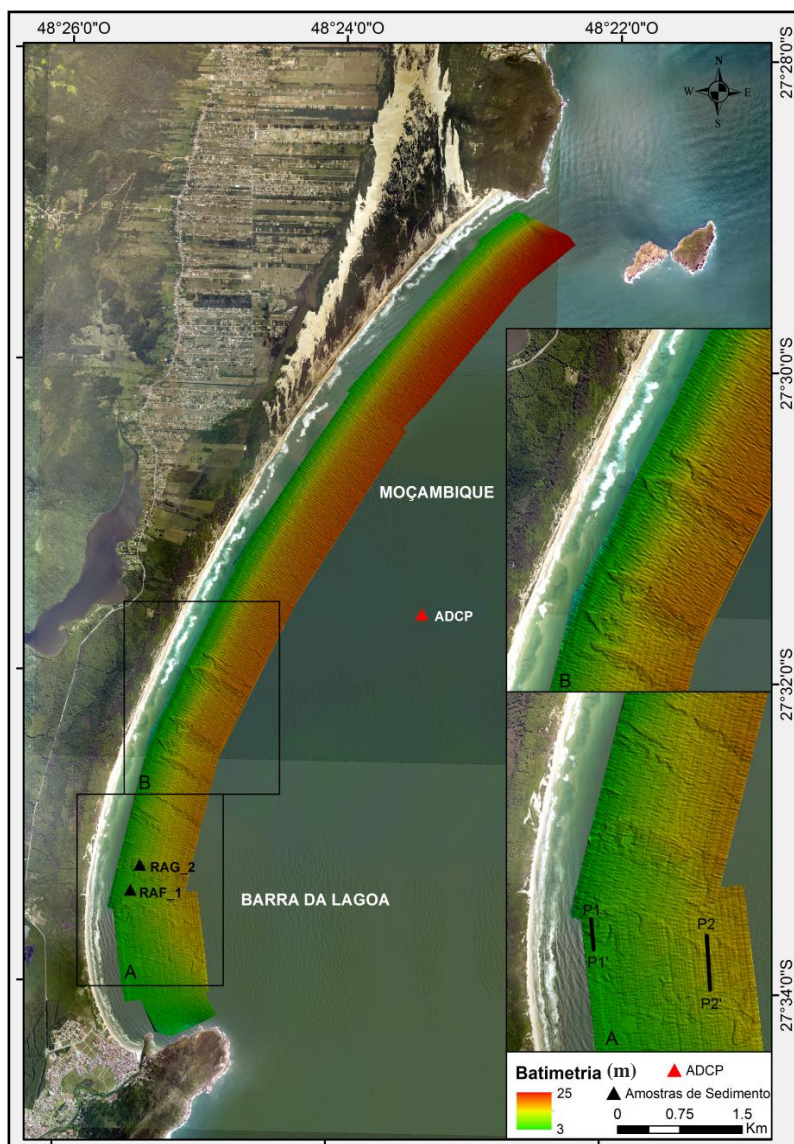


Figura 40: Batimetria de detalhe para o complexo praial Barra da Lagoa - Moçambique. (A) e (B) demonstram em detalhe as depressões associadas à feição SB. (Imagens Aéreas: Secretaria de Desenvolvimento Sustentável de Santa Catarina).

Também foi possível mensurar a diferença de profundidade entre a depressão composta por areia grossa e a areia fina adjacente, variando entre 0,5 a 1,0 m, onde o sedimento grosso inibe a sedimentação das partículas finas em função do aumento da rugosidade.

Perfis ao longo da feição na plataforma continental interna e antepaia da Barra da Lagoa – Moçambique demonstraram a presença de um lado mais íngreme e profundo (Figura 41).

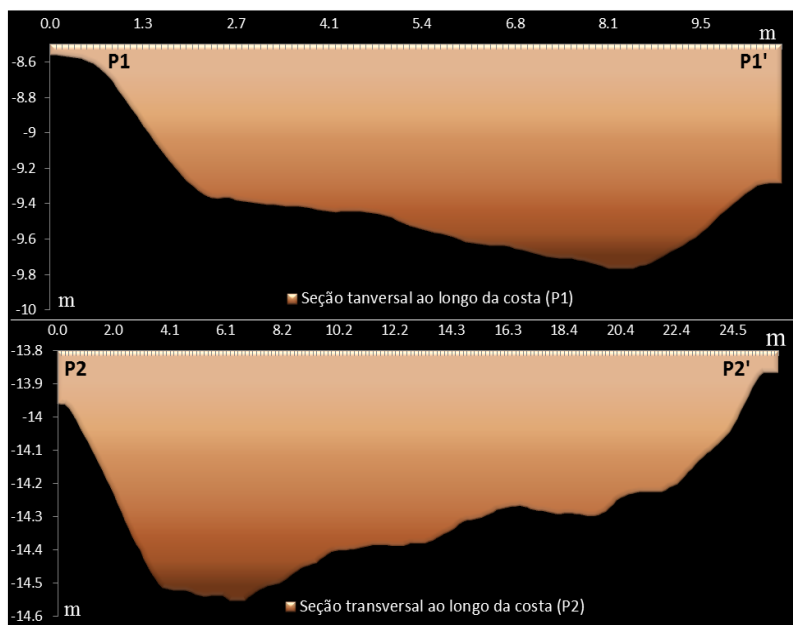


Figura 41: Perfis ao longo da costa da feição *Sorted Bedform* mostrando o lado mais íngreme e profundo no sentido da corrente mais intensa.

Estas depressões, de acordo com Murray & Thieller (2004) apresentam um lado mais profundo e íngreme, denominado ‘*wispy edge*’, refletindo à corrente predominante. Também, dificultam a troca de partículas de sedimento grosso e fino, reforçando a teoria do processo ‘auto-seletivo’. Durante eventos extremos, esta diferença batimétrica tende a diminuir, permitindo então uma maior troca entres os tipos de sedimento que compõem o leito e consequentemente caracterizam a feição SB.

Porém diferente de Murray & Thieller (2004), lado mais íngreme refletiu a corrente mais intensa, ao invés da predominante, visto que Porpilho *et al.* (2015), através da análise de um ADCP (Figura 3) fundeado na plataforma continental interna da Barra da Lagoa – Moçambique (Figura 1), verificaram a presença de correntes bidirecionais, para norte (27,02%) e para sul (29,07%). A corrente para norte, apesar de não ser predominante, apresentou maiores magnitudes, atingindo uma velocidade máxima de 0,6 m/s. Logo, o lado mais íngreme e profundo está refletido a corrente mais intensa.

Os dados de ADCP foram adquiridos entre os meses de dezembro e junho de 2014, podendo este ser um motivo da predominância da corrente para sul, visto que o inverno inicia-se em junho, quando as corrente para norte tendem a predominar, levando em consideração a maior frequência de ocorrência de frentes frias, podendo resultar numa predominância de ocorrência de correntes para norte.

Através de perfis perpendiculares a linha de costa foi possível extrair a declividade da plataforma continental interna, que apresentou uma média de 0,8°, com a menor declividade ao sul, 0,4° e a maior ao norte, 1,3°, enquanto a parte central apresentou uma declividade de 0,8°, indicando o grau de exposição a ondas destes setores (Figura 42).

Outra característica visualizada através de perfis perpendiculares a linha de costa (Figura 42), foi à transição de um perfil mais plano para côncavo, à medida que aumentava o grau de exposição a ondas, de sul para norte, característica de um ambiente dominado por onda (Wright, 1995).



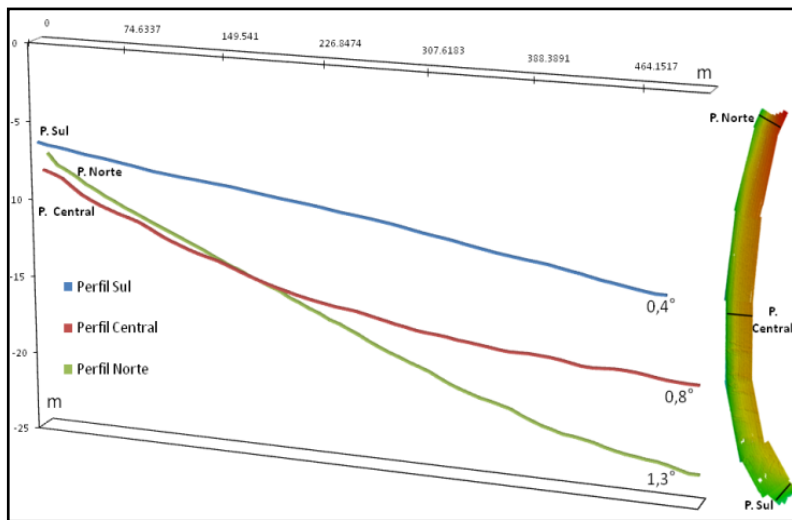


Figura 42: Perfis perpendiculares à linha de costa e suas respectivas declividades.

Este comportamento, encontrado na plataforma continental interna da Barra da Lagoa – Moçambique corrobora com os resultados encontrados por Silva (2014), onde esta definiu quatro setores para este complexo, sendo protegido ao sul, semi-protegido na parte centro-sul, semi-exposto na parte centro norte e exposto na parte norte.

### 5.1.5 – Modelo Digital Batimétrico (3D)

O modelo digital batimétrico para o complexo praial Barra da Lagoa – Moçambique foi gerado para melhor visualização da feição *sorted bedform*, caracterizada por uma depressão composta por areia grossa com a presença de marcas onduladas (Figura 43 A, B e C). Como mencionado anteriormente, em função da limitação computacional, optou-se por gerar apenas o modelo digital batimétrico de uma área específica, e neste caso, para melhor visualização da feição.



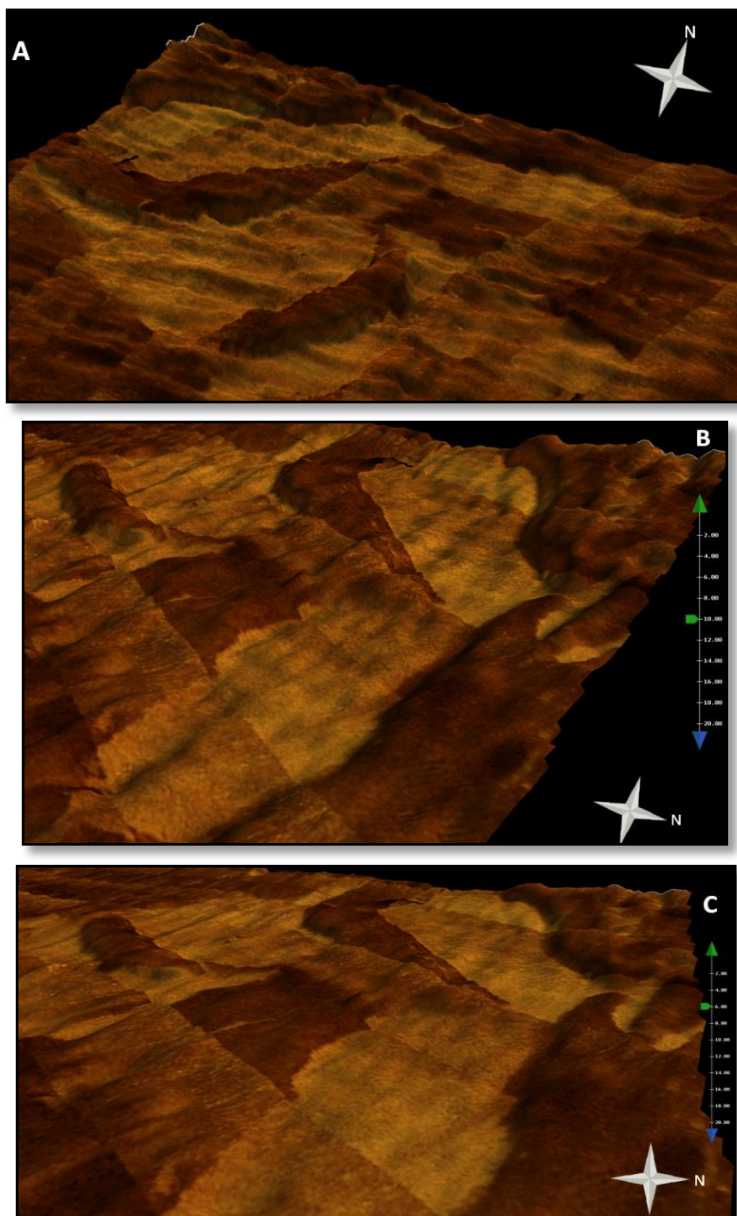


Figura 43: Modelo digital batimétrico para o complexo praial Barra da Lagoa - Moçambique demonstrando a depressão da feição SB.

### 5.1.6 – Considerações Gerais

Utilizando as imagens de SVL e retroespalhamento foi possível observar uma diferença na intensidade do retorno do sinal acústico, revelando a presença de diferentes tipos de sedimento (refletores) e suas formas de leito associadas, sendo validados por coleta sedimentar bem como pelas classificações supervisionada e não supervisionada das imagens de SVL.

As amostras de sedimento foram coletadas dentro e fora das depressões, reveladas pela batimetria de detalhe. Assim, onde foi observada uma resposta acústica mais intensa nas imagens de SVL e no retroespalhamento, a batimetria de detalhe revelou depressões entre 0,5 e 1 m, compostas por areia grossa com a presença de marcas onduladas sinuosas, apresentando um lado mais íngreme e profundo, o qual reflete a corrente mais intensa, para norte. Isto reforça a teoria do processo de ‘auto organização’ desenvolvida por Murray & Thieller (2004), porém uma interação entre fluxo e batimetria não pode ser descartada (VAN OYEN, 2011), pelo menos como o ‘gatilho’ para o início deste processo.

Também através da batimetria de detalhe foi possível observar a diferença de declividade, a qual aumentou da parte mais abrigada ao sul, para a parte mais exposta ao norte, indicando o maior grau de exposição às ondas no norte.

Outra informação extraída é a composição bimodal da plataforma continental interna e antepraia da Barra da Lagoa – Moçambique, sendo composta por areia grossa, 1 mm e areia fina, 0,2 mm, característica da SB.

Verificou-se também que o pós-praia apresenta uma composição bimodal fornecendo subsídio para a afirmação da presença deste material mais grosso sob a camada de areia fina em todo o complexo praial Barra da Lagoa – Moçambique.

Esta grande feição parece ser estável, visto que o L.H. foi realizado entre os anos de 2013/2014 e nenhuma variação na posição das mesmas foi encontrada.

Através dos dados geoacústicos e das classificações supervisionada e não supervisionada, bem como do modelo digital batimétrico da antepraia e plataforma continental interna do complexo praial Barra da Lagoa - Moçambique foi possível identificar a presença de uma feição já descrita ao redor do globo, classificada como *Sorted Bedforms*.

## 5.2 – PONTA DAS ARANHAS

### 5.2.1 – Sonografia

Através das imagens de SVL (Figura 44) foi possível identificar a predominância de apenas um tipo de refletor (sedimento), bem como algumas manchas com resposta acústica mais intensa (Figura 44A). Além da característica do retorno do sinal, foi identificado a presença de formas de leito na parte sul da Ponta das Aranhas, orientadas praticamente perpendicular à linha de costa (Figura 44A).



Figura 44: Mosaico das imagens de SVL. (A) Formas de leito na parte sul da Ponta das Aranhas. Onde alto reflete um retorno acústico mais intenso e baixo, um retorno acústico menos intenso. (Imagens Aéreas: Secretaria de Desenvolvimento Sustentável de Santa Catarina).

Estas feições apresentaram comprimento entre 6 e 15 m, e de acordo com Ashley (1990) e Short (1999), foram classificadas como megaondulações assimétricas, catenárias (Figura 45), visto sua forma e dimensão.

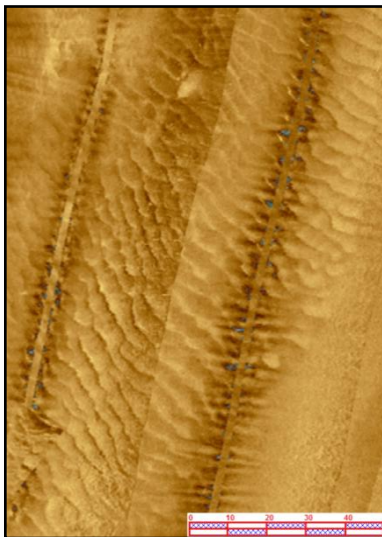


Figura 45: Megaondulações assimétricas, catenárias na parte sul da Ponta das Aranhas.

Considerando que esta área é composta por areia fina, com tamanho aproximado de 0,2 mm (PGGM, 2010) (Figura 2), de acordo com Lewis (1984), seria necessário uma corrente com velocidade superior a 0,4 m/s (Figura 5) para gerar estas megaondulações identificadas.

Também, para ser considerada megaondulações, as feições devem apresentar o comprimento igual ou maior que a profundidade de ocorrência, como neste caso, visto que as mesmas ocorrem a partir de 10 m de profundidade.

Soulby (2005) cita que a morfologia local está relacionada mais com o transporte por tração (*bedload*) do que suspensão (*suspended load*), visto que o transporte por tração apresenta uma reação rápida em relação às condições do fluxo.

De acordo com Van Rijn (2007), à medida que a velocidade próxima ao leito aumenta, as feições tendem a ser mais irregulares em sua forma, altura e comprimento, gerando então feições tridimensionais.

As formas de leito são geradas através do transporte por tração, o qual está diretamente relacionado com a migração das mesmas (WRIGHT, 1995; SHORT, 1999; VAN RIJN, 2007). Neste caso, indicam uma transposição de sedimento (*sediment bypass*) ao longo do promontório, ou seja, uma dinâmica sedimentar no sentido sul – norte.

A outra característica observada nas imagens de SVL para a plataforma continental interna em frente à Ponta das Aranhas, a presença de algumas manchas com resposta acústica mais intensa, que variaram entre 5 e 30 m de comprimento (Figura 44A).

Estas manchas indicam a presença de uma corrente intensa, capaz de retirar sedimento fino e predominante classificado por PGGM (2010), expondo o possível sedimento mais grosso, caracterizado pela resposta acústica mais intensa.

### **5.2.2 – Retroespalhamento (*Backscatter*)**

A informação gerada pelo retroespalhamento (Figura 46) forneceu resultados similares aos da imagem de SVL. Assim, ressaltando a presença das megaondulações assimétricas, catenárias, perpendiculares a linha de costa na parte sul da Ponta das Aranhas (Figura 46A).

Também, foi possível confirmar a presença de manchas com resposta acústica mais intensa, mesmo que pequenas (Figura 46A). Estas provavelmente indicam a presença de um sedimento mais grosso, refletindo a presença de correntes intensas, capaz de retirar o sedimento mais fino. Também o aumento da rugosidade, gerado pela presença das megaondulações, bem como pelo possível sedimento mais grosso, com resposta acústica mais intensa, inibindo a sedimentação de partículas mais finas.

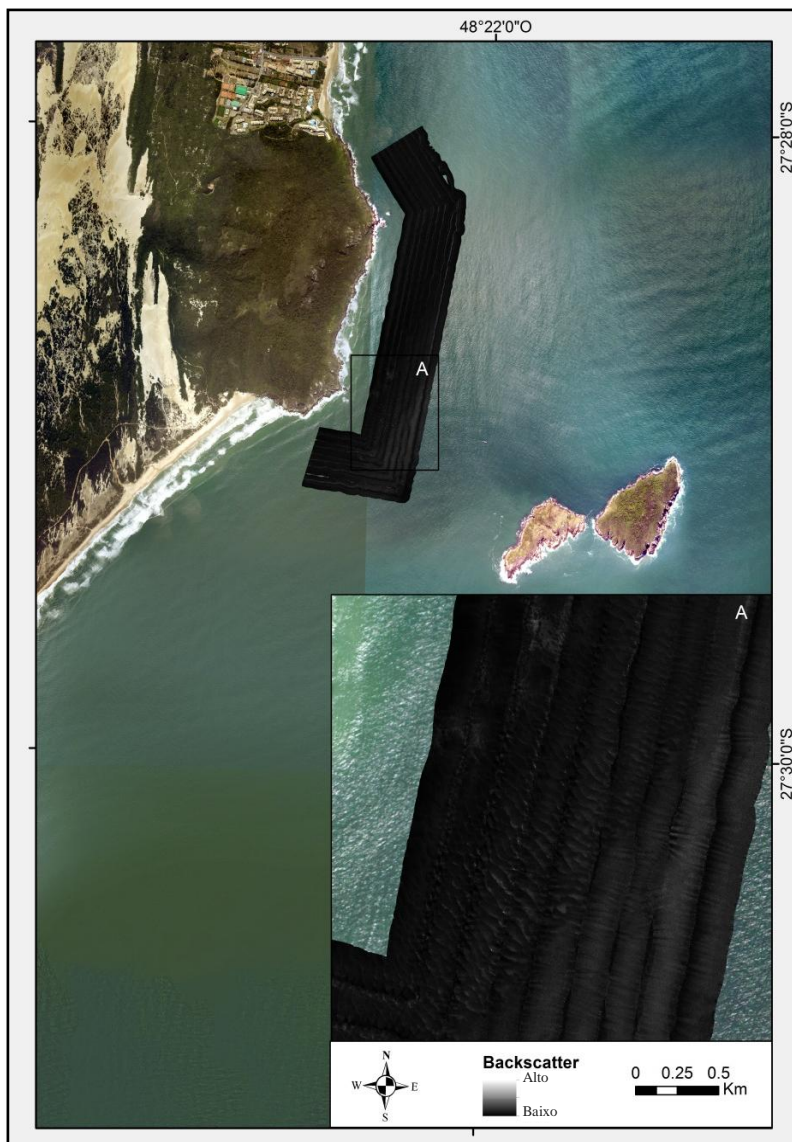


Figura 46: Retroespalhamento para a Ponta das Aranhas mostrando a presença das megaondulações, bem como manchas com retorno do sinal acústico mais intenso. Onde alto reflete um retorno acústico mais intenso e baixo, um retorno acústico menos intenso. (Imagens Aéreas: Secretaria de Desenvolvimento Sustentável de Santa Catarina).



Neste caso, a informação provida pelo retroespalhamento foi muito importante no auxilio da determinação da presença de manchas com intensidade do retorno mais intenso, possivelmente refletindo a presença de um sedimento mais grosso, sanando possíveis duvidas em relação à presença destas nas imagens de SVL.

### 5.2.3 – Classificação das imagens de SVL

Os resultados obtidos através das classificações, supervisionada e não supervisionada referente às imagens de SVL (Figura 47) da plataforma continental interna em frente à Ponta das Aranhas, indicou uma composição do leito bem uniforme, em ambas, demonstrando a predominância de apenas um tipo de refletor (sedimento), areia fina, de acordo com a classificação realizada por PGGM (2010).

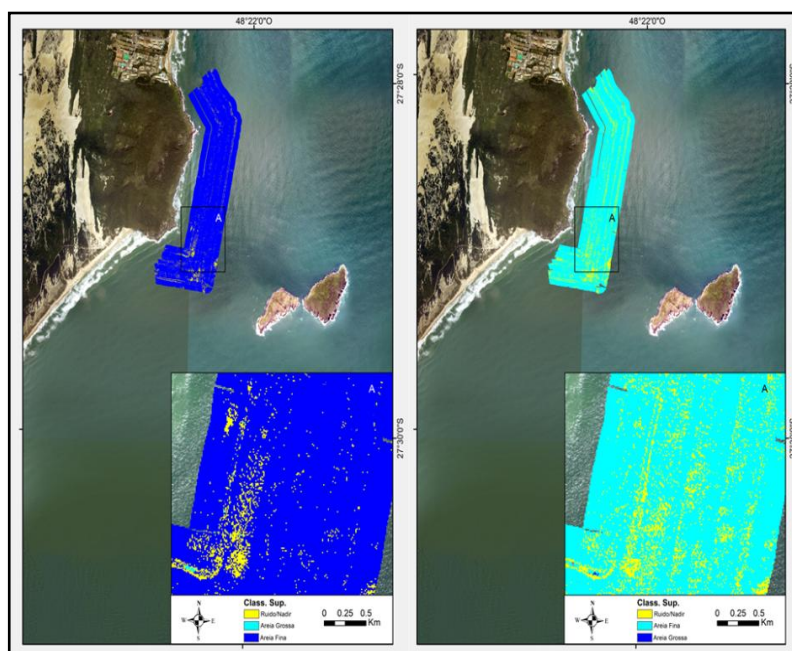


Figura 47: Classificação supervisionada e não supervisionada. (Imagens Aéreas: Secretaria de Desenvolvimento Sustentável de Santa Catarina).

Apesar de não ter reconhecido as manchas com resposta acústica mais intensa, não pode ser deixado de lado o reconhecimento



correto por parte do classificador da predominância de um tipo de sedimento, bem como a identificação do nadir/ruído, existente nas imagens de SVL.

Nas imagens de SVL e no retroespalhamento, foi observado que a crista das megaondulações bem como as manchas apresentaram uma resposta acústica mais intensa, e neste caso as classificações reconheceram como ruído. Isto provavelmente ocorreu em função das classes ruído e sedimento grosso possuírem respostas acústicas, mesmo que diferentes, próximas, podendo então ser a causa da classificação equivocada.

Como para o complexo praiial Barra da Lagoa – Moçambique, a classificação não supervisionada apresentou menor poder de distinção, se comparada com a supervisionada, reconhecendo mais o ruído/nadir.

#### **5.2.4 – Batimetria**

Utilizando a batimetria de detalhe (Figura 48) foi possível identificar a mesmas feições encontradas nas imagens de SVL e no retroespalhamento, além de fornecer informações sobre o perfil e a altura das megaondulações.

Em relação à altura destas feições, que variou entre 0,5 – 1,2 m, sendo então classificadas como megaondulações, corroborando então com Flemming (1988) e Harris (1988), os quais afirmaram que a profundidade da plataforma continental permite o desenvolvimento de formas de leito de dimensões impressionantes.

Levando em consideração o comprimento e a altura destas feições, e a composição do leito, uma corrente com velocidade superior a 0,4 m/s seria necessária para gerar estas megaondulações (LEWIS, 1984).

Porpilho *et al.* (2015) utilizando dados de um ADCP fundeado 5 km ao sul do promontório (Figura 1), identificaram a presença de correntes bimodal, bem similares em frequência, para sul (29,07%) e para norte (27,02%). Porém, correntes para norte apresentaram maiores magnitudes, atingindo 0,6 m/s como velocidade máxima, enquanto que correntes para sul, raramente excederam 0,2 m/s, corroborando com Lewis (1984).

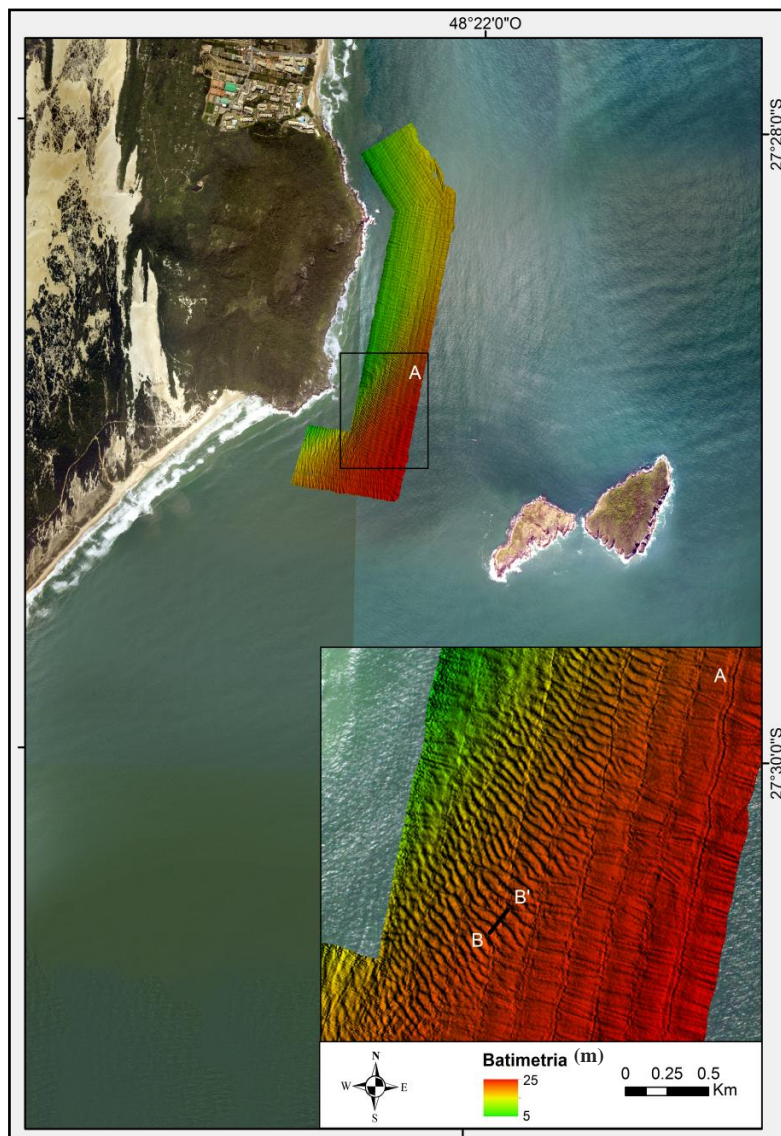


Figura 48: Batimetria de detalhe para a plataforma continental interna da Ponta das Aranhas. (A) Detalhe das megaondulações assimétricas, catenária, perpendicular a linha de costa. (Imagens Aéreas: Secretaria de Desenvolvimento Sustentável de Santa Catarina).

Assim, analisando o perfil (Figura 48A) das megaondulações, observa-se a presença do ângulo mais íngreme a sotamar (Figura 49), indicando o sentido de migração para norte.

O perfil está indicando a maior capacidade de transporte de sedimento pela corrente para norte, e consequentemente, que as formas de leito refletem a corrente mais intensa ao invés da predominante, como mencionado por Ashley (1990).

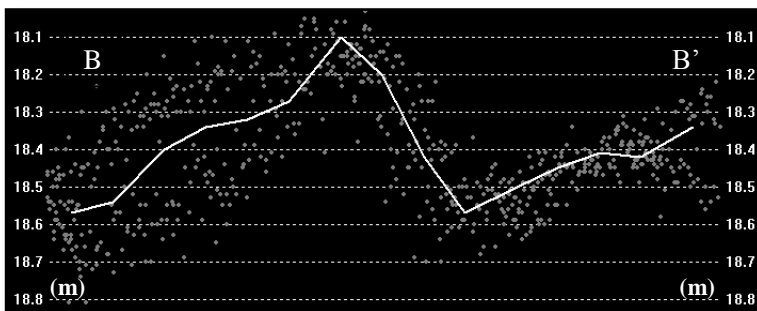


Figura 49: Perfil assimétrico de uma megaondulação demonstrando o ângulo mais íngreme para norte, bem como sua altura.

Possivelmente estas feições foram geradas por um aumento da velocidade da corrente, devido à constricção entre o promontório e a Ilha das Aranhas (Figura 48), atingindo então o limiar para o transporte de sedimento por tração e a velocidade necessária para gerar estas feições, de acordo com por Lewis (1984).

Visto que as correntes mais intensas apresentam maior capacidade de transporte, neste caso no sentido norte (PORPILHO *et al.*, 2015), mesmo sentido de migração das formas de leito, caracterizando então a transposição sedimentar ao longo do costão.

Outra informação extraída da batimetria de detalhe foi a declividade da plataforma continental interna adjacente a Ponta das Aranhas. Esta apresentou uma média de  $1,57^\circ$ , sendo  $1,6^\circ$  ao sul do promontório (P1),  $1^\circ$  ao norte (P7) e  $1,7^\circ$  na parte central (P4) (Figura 50).

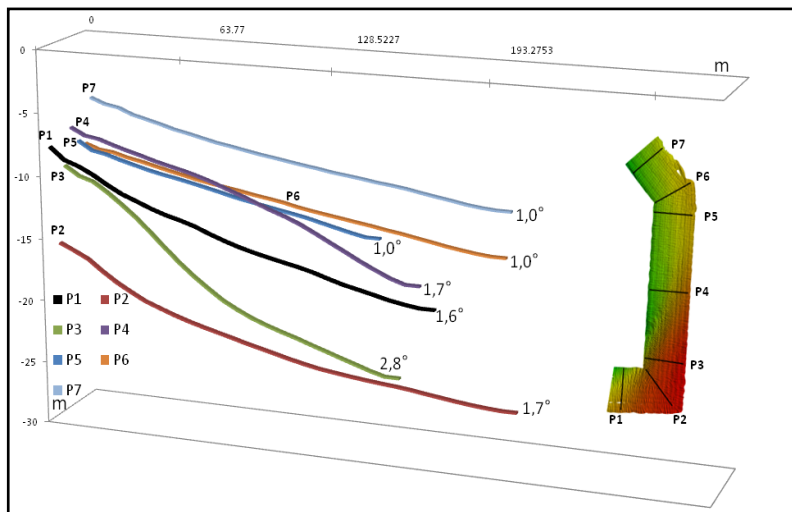


Figura 50: Perfis perpendiculares à linha de costa e suas respectivas declividades.

Também foi observado, que a declividade aumentou de P1 até P3, podendo então indicar uma maior exposição a ondas e/ou atuação de correntes. A partir de P4, passa a diminuir, até o P7, com a menor declividade,  $1^\circ$ , indicando um ambiente mais protegido ao norte.

A maior declividade encontrada em P2 ( $1,7^\circ$ ) e P3 ( $2,8^\circ$ ) pode reforçar a afirmação sobre o aumento de velocidade da corrente devido à constricção entre a Ilha das Aranhas e o promontório, visto a maior profundidade desta área, indicando então uma remoção de areia, bem como a presença das megaondulações, ambos refletindo um transporte por tração, caracterizando a transposição sedimentar ao longo do promontório.

A maior declividade encontrada em P3 e a menor declividade encontrada em P4 reflete um leve acúmulo de sedimento, sendo este classificado como uma feição denominada *shelf sand body* (SSB) (ROY *et al.*, 1997) (Figura 51), indicando a retirada de sedimento da parte sul e uma possível deposição na parte central do promontório.

### 5.2.5 – Modelo Digital Batimétrico (3D)

O modelo digital batimétrico gerado para a plataforma continental interna em frente à Ponta das Aranhas (Figura 51),

proporciona a visualização da maior declividade ao sul do promontório, bem como a feição SSB.

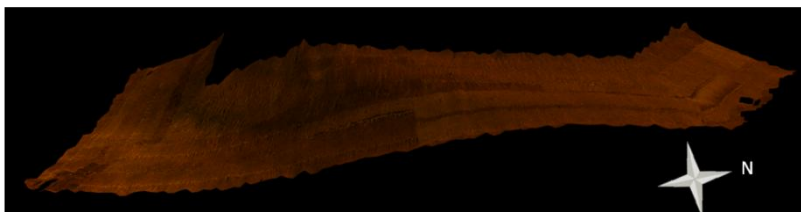
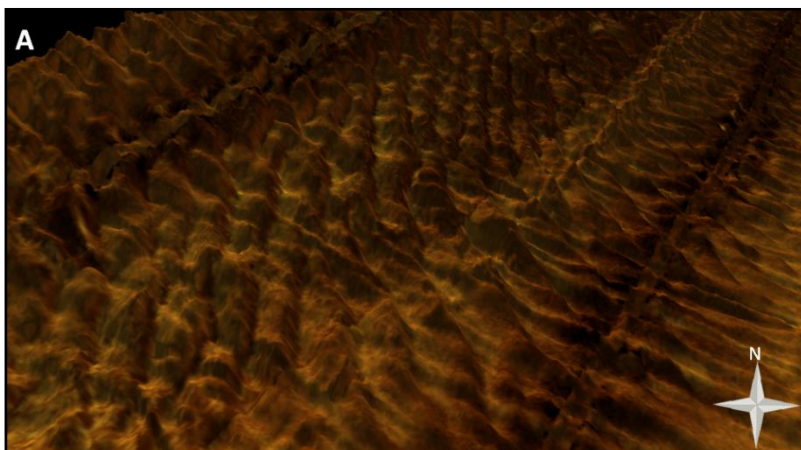


Figura 51: Modelo digital batimétrico para a plataforma continental interna adjacente a Ponta das Aranhas, possibilitando a visualização da maior declividade na parte sul, bem como a feição SSB.

Além da maior declividade e da feição *shelf sand body* (ROY *et al.*, 1997), o modelo digital batimétrico também proporcionou a visualização das megaondulações assimétricas, catenárias, perpendiculares a linha de costa, presentes ao sul do promontório (Figura 52 A e B). Auxiliando então na visualização do sentido de migração, para norte.

Isto reflete a corrente mais intensa identificada por Porpilho *et al.* (2015) bem como indica o transporte por tração e por consequência a transposição sedimentar (*sediment bypass*) ao longo do promontório.



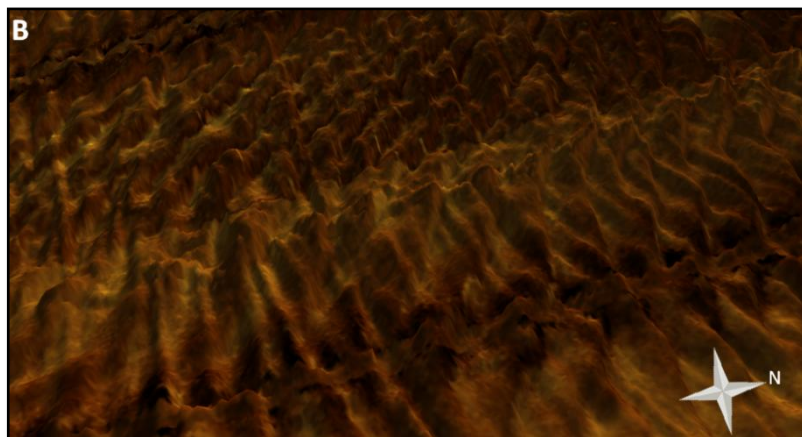


Figura 52: Modelo digital batimétrico para a plataforma continental interna adjacente a Ponta das Aranhas demonstrando as megaondulações assimétricas.

### 5.2.6 – Considerações Gerais

Com a informação obtida através dos dados geocústicos junto com os resultados do ADCP (Porpilho *et al.*, 2015), é possível afirmar que a presença destas megaondulações assimétricas, catenárias na parte sul da Ponta das Aranhas indicam uma dinâmica sedimentar para o norte, refletindo a corrente mais intensa, visto que esta corrente apresenta magnitude necessária para gerar feições desta dimensão, de acordo com Lewis (1984).

Estas indicam um transporte por tração para norte, visto a maior declividade da parte sul, bem como a formação da feição *shelf sand body*. Assim, caracterizando uma transposição sedimentar ao longo do promontório, a qual possivelmente indica a saída de sedimento do complexo praial Barra da Lagoa – Moçambique, e a entrada de sedimento para o sistema da praia do Santinho.

Através das imagens de SVL, do retroespalhamento e das classificações supervisionada e não supervisionada é possível afirmar, indiretamente, a homogeneidade da plataforma continental interna em frente ao promontório, além de, também indicar a atuação de uma corrente intensa, visto as manchas de sedimento grosso, ao sul do promontório, indicando a remoção do sedimento fino.

Estas manchas também indicam a presença de um sedimento mais grosso sob a camada de sedimento superficial, mais fino.

A batimetria de detalhe foi essencial, proporcionando a visualização do perfil e da altura das megaondulações, indicando o sentido de migração e a magnitude do processo formador, sendo a corrente mais intensa, para norte. Visto essa assimetria, com maior ângulo a sotavento, sanando possíveis dúvidas relacionada à interpretação das imagens de SVL e do retroespalhamento.

A declividade indicou também a ação desta corrente intensa, visto que em P2 e P3, ao sul do promontório (Figura 50) foram encontrados os maiores valores, sendo o mesmo local de ocorrência das megaondulações. Assim, a velocidade da corrente deve aumentar significativamente na área entre o promontório e a Ilha da Aranhas, intensificando o transporte por tração.

Bem como a menor declividade em P7 (Figura 50) indicou uma menor exposição da parte norte do promontório, em relação à ação de ondas e correntes.

### 5.3 – PRAIA DO SANTINHO

#### 5.3.1 – Sonografia

As imagens de SVL (Figura 53) indicam a predominância de apenas um tipo de refletor (sedimento), areia fina (PGGM, 2010), visto que estas não apresentaram diferenças significativas na intensidade da resposta acústica, apenas algumas pequenas manchas com resposta acústica mais intensa, que variaram entre 1 e 5 m comprimento (Figura 54), possivelmente refletindo a presença de um sedimento mais grosso.

Também, foi identificada a presença de formas de leito ao longo de toda a antepraia da praia do Santinho, entre 3 – 12 m de profundidade, aproximadamente (Figura 53A).





Figura 53: Mosaico das imagens de SVL. (A) Sequência de formas de leito na parte norte da antepraia do Santinho, variando de simétricas, para assimétricas sinuosas e então lunares. Onde alto reflete um retorno acústico mais intenso e baixo, um retorno acústico menos intenso. (Imagens Aéreas: Secretaria de Desenvolvimento Sustentável de Santa Catarina).



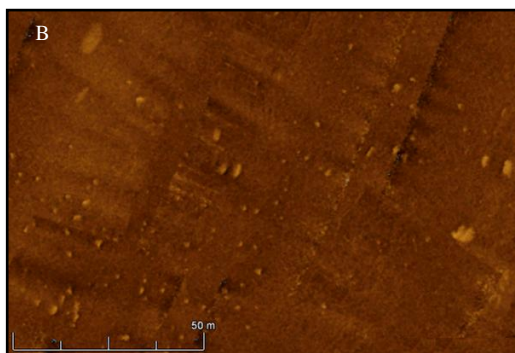


Figura 54: Pequenas manchas de areia grossa na parte sul da plataforma continental interna do Santinho.

Como já identificada previamente (CLIFTON *et al.*, 1971), e modificada por Short (1999), a sequência encontrada na antepraia do Santinho evoluiu de marcas onduladas simétricas (aproximadamente 12 m), para assimétricas sinuosas (aproximadamente 10 m), então para lunares (entre 4 - 2 m) e finalmente para o leito plano (< 2m) (Figura 55).

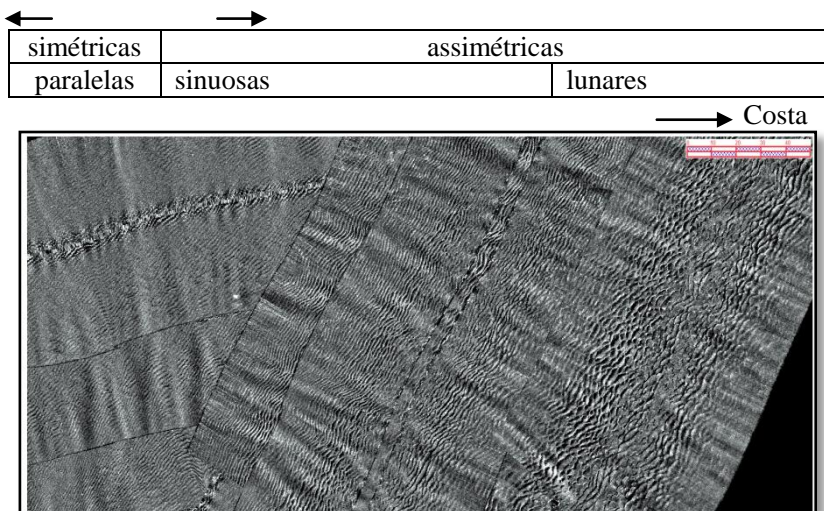


Figura 55: Sequência de formas de leito encontrada na antepraia do Santinho. Esta evoluiu de simétricas, para assimétricas e então lunares.

As marcas onduladas simétricas (Figura 56A) apresentaram comprimento de aproximadamente 1m, as assimétricas sinuosas entre 1 – 1,5 m (Figura 56B), enquanto que as lunares (Figura 56C) entre 2 – 5 m.

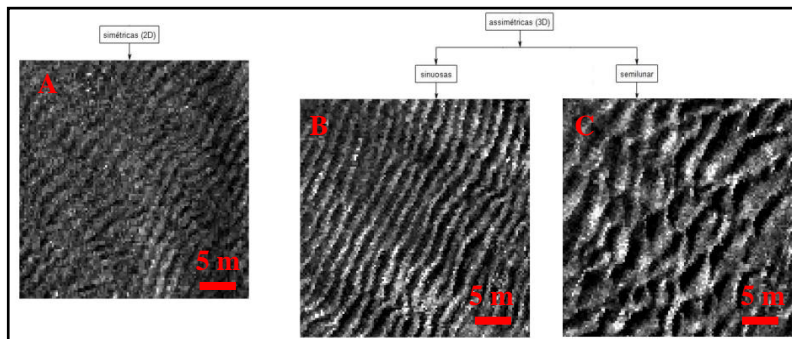


Figura 56: Formas de leito identificadas na antepraia do Santinho. (A) Simétricas; (B) Assimétricas; (C) Lunares.

A antepraia, definida por Short (1999), é o limite do *run up* na face da praia até a profundidade onde as ondas de gravidade influenciam a morfologia do leito, a profundidade de fechamento (SHORT, 1999). Nesta zona, a dinâmica de ondas/correntes e seus fluxos resultantes, transporte de sedimento e formas de leito podem variar significativamente, dependendo das condições de onda, profundidade, tamanho de grão e localização (SHORT, 1983).

Estes processos passam por transformações ao se aproximarem da antepraia, sendo intensificados na zona de surf, onde o transporte de sedimento é maior (CLIFTON *et al.*, 1971). Além disso, correntes e assimetrias no movimento orbital da onda, tendem a resultar em um transporte em direção a costa (CLIFTON *et al.*, 1971; DAVIDSON-ARNOTT & GREENWOOD, 1974).

Alguns autores (CLIFTON *et al.*, 1971; DAVIDSON-ARNOTT & GREENWOOD, 1974; OSBORNE & VINCENT, 1993; SHORT, 1999) identificaram a ocorrência de uma sequência de formas de leito a partir da profundidade de fechamento até a zona de espreadimento, a qual está relacionada com o tipo de praia, declividade, presença de bancos, rugosidade, tamanho de grão, ângulo de incidência de onda, assimetrias no movimento orbital da onda e correntes predominantes, ou também pode ser interpretada com relação ao regime do fluxo (CLIFTON *et al.*,

1971), ou seja, interação do movimento orbital da onda e correntes com a batimetria.

Tanto Clifton *et al.* (1971) quanto Davidson-Arnott & Greenwood (1974) mencionaram que algumas vezes, nem sempre será possível observar a mesma sequência previamente identificada (Figura 6), porém, a posição das marcas onduladas é invariável, como neste caso, visto que as marcas onduladas irregulares e cruzadas não foram identificadas, exemplificado na Figura 57.

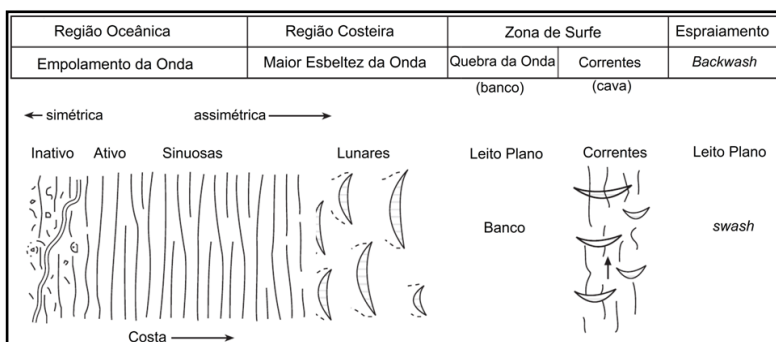


Figura 57: Esquema da sequência de formas de leito identificada na antepraia do Santinho. Modificado de Short (1999).

### 5.3.2 – Retroespalhamento (*Backscatter*)

Através do retroespalhamento (Figura 58) também foi possível observar a dominância de apenas um tipo de refletor, sedimento fino (PGGM, 2010), compondo a plataforma continental interna e antepraia da praia do Santinho, corroborando com as imagens de SVL.

As pequenas manchas com resposta acústica mais intensa, possivelmente refletindo um sedimento mais grosso, visíveis nas imagens de SVL, não foram identificadas no retroespalhamento, em função da menor resolução deste.

Além disso, a mesma sequência de formas de leito (Figura 58A) identificadas nas imagens de SVL, presentes no norte da antepraia do Santinho, foi visualizada.

Outra característica observada no retroespalhamento da plataforma continental interna e antepraia do Santinho, é a maior intensidade do retorno do sinal acústico, oriundo do nadir, isto pelo fato do mesmo ter um ângulo de retorno muito reto, próximo de 90° (Figura 58A).



Figura 58: Retroespalhamento para plataforma continental interna e antepaia do Santinho demonstrando a predominância de apenas um tipo de sedimento. (A) Sequência de formas de leito, bem como o retorno mais intenso do nadir. Onde alto reflete um retorno acústico mais intenso e baixo, um retorno acústico

menos intenso. (Imagens Aéreas: Secretaria de Desenvolvimento Sustentável de Santa Catarina).

### **5.3.3 – Classificação das imagens de SVL**

O resultado obtido através das classificações supervisionada e não supervisionada para a plataforma continental interna e antepraia da praia do Santinho (Figura 59) indicam uma composição homogênea do leito, sendo possível visualizar a dominância de apenas uma classe, a areia fina (PGGM, 2010).

A exemplo do retroespalhamento, as pequenas manchas com resposta acústica mais intensa, possivelmente refletindo a presença de um sedimento mais grosso, não foram identificadas nas classificações, tanto na supervisionada quanto na não supervisionada, pelo fato da dimensão destas manchas, que apresentaram raio entre 1 a 5 m.

É possível também observar que além da areia fina, ambas classificações reconheceram a presença da classe ruído/nadir.

Outra característica possível de visualizar em ambas as classificações é a parte em que não foi classificada (Figura 59), em relação às classes, areia grossa, fina e nadir/ruído. Isto ocorreu devido ao fato do classificador, o SonarClass, considerar que áreas que apresentem 50% ou mais de tonalidades preta ou branca, são consideradas insignificante. Levando em consideração o tamanho das amostras de classificação 29 X 29 pixels, neste caso, isto ocorreu nas sombras das formas de leito lunares, que apresentaram maior dimensão (Figura 56C).



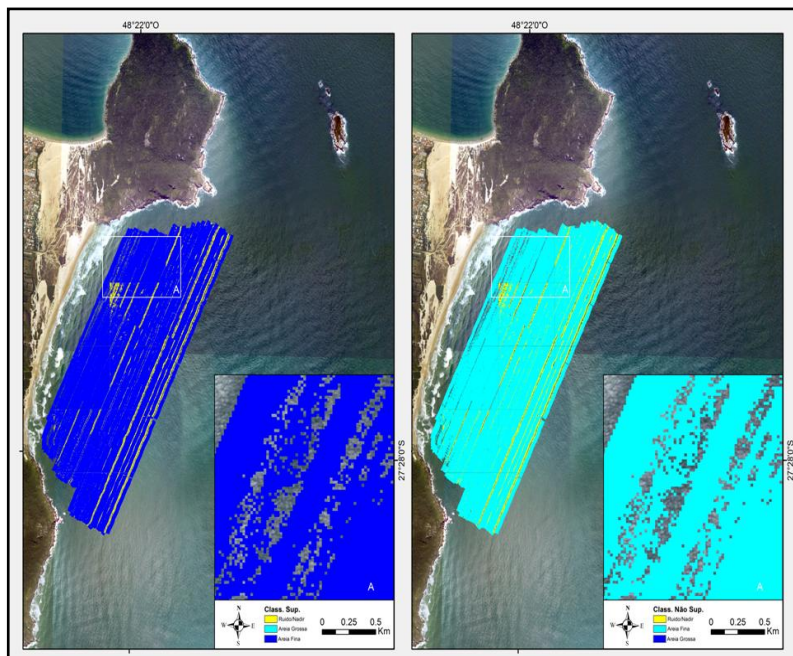


Figura 59: Classificação supervisionada e não supervisionada. (Imagens Aéreas: Secretaria de Desenvolvimento Sustentável de Santa Catarina).

### 5.3.4 – Batimetria

A batimetria de detalhe para a plataforma continental interna e antepraia do Santinho (Figura 60) também indicou as isobatas paralelas à linha de costa, além da sequência de formas de leito identificadas previamente nas imagens de SVL e no retroespalhamento, sendo possível identificar a profundidade em que estas passam a ocorrer, bem como informações com relação ao perfil e altura das feições, além da declividade da plataforma continental interna.

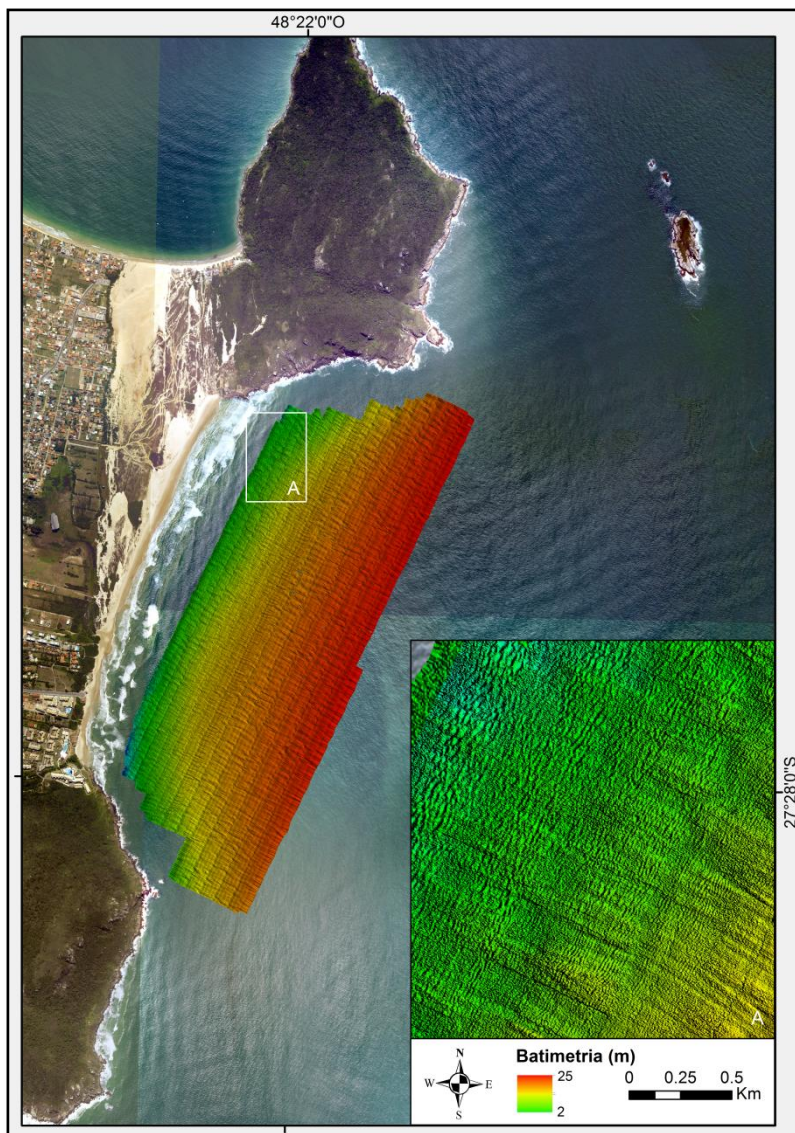


Figura 60: Batimetria de detalhe para a plataforma continental interna do Santinho. (A) Demonstra em detalhe a sequência de formas de leito identificada na antepraia do Santinho. (Imagens Aéreas: Secretaria de Desenvolvimento Sustentável de Santa Catarina).

As marcas onduladas simétricas (Figura 61A) apareceram entre 12 – 10 m (Figura 61C) de profundidade e apresentaram uma altura entre 5 – 15 cm (Figura 61B).

Estas indicam o início da interação do movimento orbital da onda com a morfologia, gerando variações ‘significativas’, refletindo então a possível profundidade de fechamento (Figura 61B), em relação às condições meteoceanográficas encontradas durante o L.H.. Esta foi definida por Short (1999), como sendo o limite externo da antepraia.

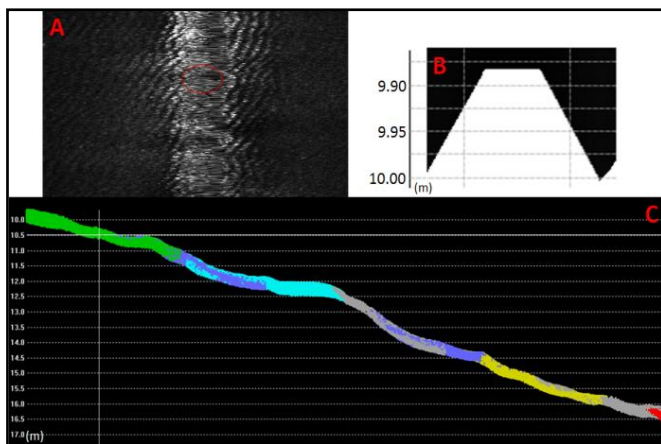


Figura 61: (A) e (C) Início das marcas onduladas simétricas, indicando a profundidade de fechamento; (B) Perfil.

As marcas onduladas assimétricas, sinuosas (Figura 56B), que ocorreram entre 10 – 4/5 m aproximadamente, apresentaram altura entre 0,15 – 0,30 m (Figura 62). O perfil destas indica uma maior interação da assimetria deste movimento orbital com o leito, resultando em um transporte para costa, visto a direção desta assimetria.



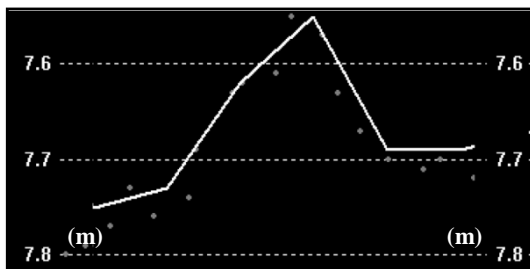


Figura 62: Perfil da marca ondulada assimétrica, sinuosa.

Já as assimétricas lunares (Figura 56C), identificadas entre 5/4 – 2 m, com altura variando entre 0,25 – 0,50 m indicam uma assimetria maior ainda do movimento orbital e sua interação com o leito. Seu perfil indica também o fluxo resultante para costa (Figura 63).

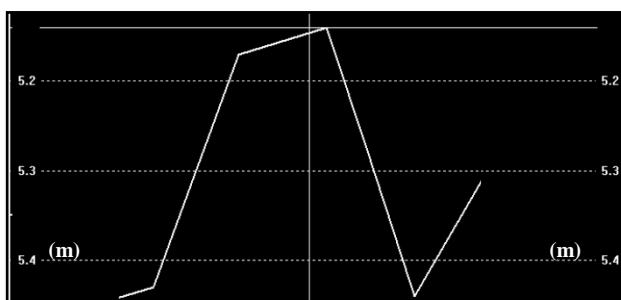


Figura 63: Perfil da forma de leito lunar.

Utilizando a batimetria de detalhe, também foi possível extrair a declividade da plataforma continental interna da praia do Santinho (Figura 64), que apresentou um valor médio de  $1^\circ$ . Tanto o setor sul quanto o central apresentaram uma declividade menor,  $1^\circ$ , enquanto o norte apresentou uma declividade de  $1,1^\circ$ .

Esta declividade está indicando um menor grau de exposição a ondas destes setores, sul e central, e maior do norte.

O setor norte foi a área onde a sequência de formas de leito (Figura 60) relacionadas à interação da assimetria do movimento orbital da onda com o leito foi encontrada, caracterizando o ambiente mais exposto ao ângulo de incidência de ondas.

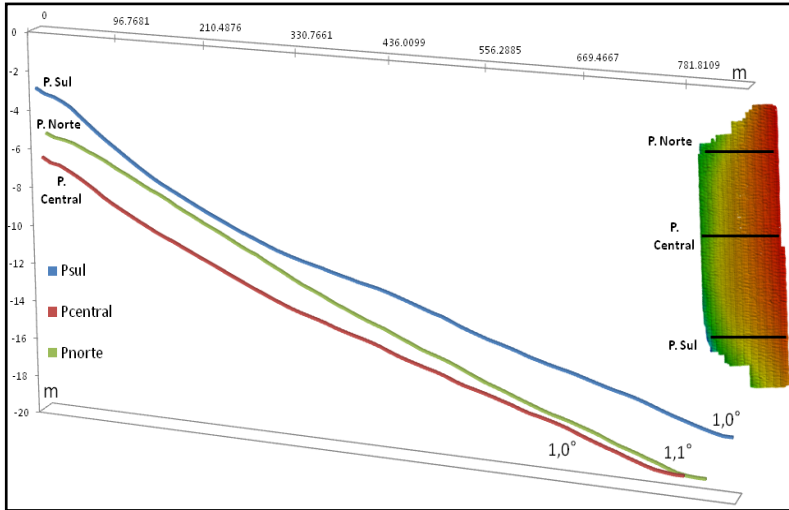


Figura 64: Perfis perpendiculares à linha de costa e suas respectivas declividades.

### 5.3.5 – Modelo Digital Batimétrico (3D)

No caso da praia do Santinho, o modelo digital batimétrico (Figura 65) foi elaborado com o intuito da melhor visualização da sequência de formas de leito que evoluiu de marcas onduladas simétricas para assimétricas sinuosas e então lunares (Figura 55), previamente identificada por Clifton *et al.* (1971) e modificada por Short (1999).

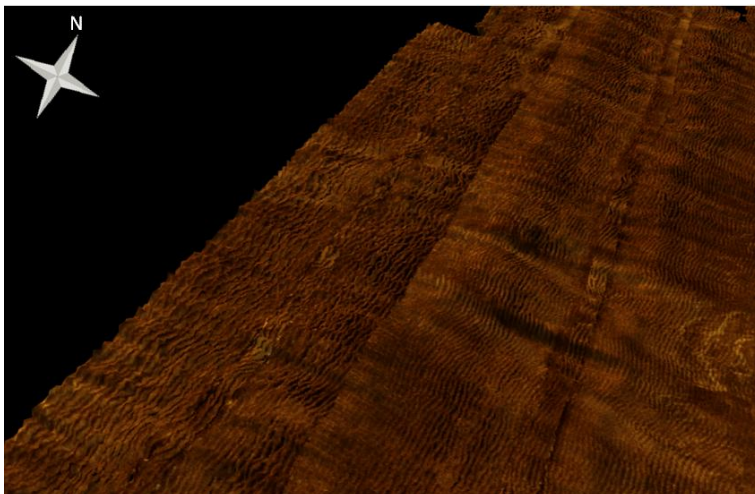


Figura 65: Modelo digital batimétrico para a antepraia do Santinho, demonstrando a sequência de formas de leito que evoluiu de marcas oduladas simétricas, para assimétricas sinuosas e então lunares.

### 5.3.6 – Considerações Gerais

Através dos dados geoacústicos e das classificações supervisionada e não supervisionada, foi possível identificar a homogeneidade da plataforma continental interna e da antepraia do Santinho, sendo composta por areia fina (PGGM, 2010), com apenas algumas pequenas manchas de sedimento grosso (Figura 54), que variou entre 1 e 5 m comprimento.

Outra característica da antepraia muito interessante foi a visualização da sequência de formas de leito, previamente identificada por Clifton *et al.* (1971) e modificada por Short (1999), a qual evoluiu de marcas onduladas simétricas para assimétricas e então lunares, indicando a maior a assimetria do movimento orbital da onda com o leito a medida que diminuiu a profundidade.

Também, foi possível visualizar o transporte resultante por tração em direção a costa, visto que este está diretamente relacionado com o desenvolvimento e migração das formas de leito, refletido pelos perfis destas feições. Assim, corrobora-se com a afirmação de que a assimetria do movimento orbital da onda, bem como sua interação com o leito, aumenta à medida que a profundidade diminui.

Através da declividade notou-se a menor exposição a ondas de sul para norte, visto o aumento desta neste sentido, indicando a maior exposição da parte norte.

Com relação às classificações, supervisionada e não supervisionada, as únicas ressalvas neste caso, foi a não identificação das pequenas manchas de areia grossa, identificadas nas imagens de SVL, porém não visualizadas, tanto no retroespalhamento quanto nas classificações supervisionadas e não supervisionadas, bem como a não classificação da sombra das marcas onduladas lunares, onde o classificador acabou por não associar a nenhuma classe.

## 5.4 – PONTA DOS INGLESES

### **5.4.1 – Sonografia**

As imagens de SVL da Ponta dos Ingleses indicam uma composição heterogênea da plataforma continental interna (Figura 66), visto que nestas imagens é possível observar quatro padrões de resposta acústica distintos, sendo que esta diferença está associada à intensidade do retorno do sinal e consequentemente a impedância acústica dos diferentes tipos de refletores (sedimento e/ou substrato).

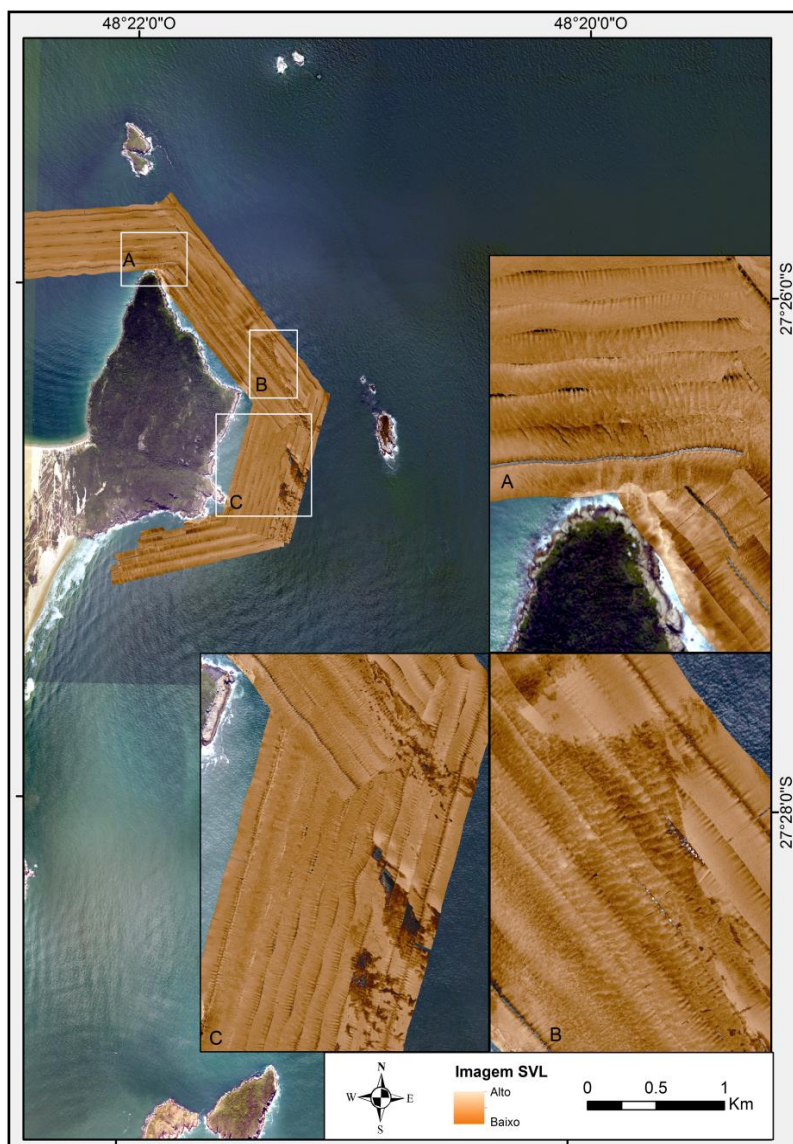


Figura 66: Mosaico das imagens de SVL. (A) Formas de leito assimétricas catenárias na parte norte da plataforma continental interna da Ponta dos Ingleses; (B) Formas de leito assimétricas catenárias na parte central da plataforma continental interna da Ponta dos Ingleses e a feição SB; (C) Depósito de sedimento fino ao sul do promontório. Onde alto reflete um retorno acústico

mais intenso e baixo, um retorno acústico menos intenso. (Imagens Aéreas: Secretaria de Desenvolvimento Sustentável de Santa Catarina).

Estas diferenças na intensidade do retorno do revelam a presença de um acúmulo de um possível sedimento mais fino, ao sul do promontório (Figura 66C), pois sedimentos mais finos apresentam uma resposta acústica menos intensa (COLLIER & BROWN, 2004; FONSECA & CALDER, 2005; WEBBER, 2015).

Outra diferença observada na intensidade do retorno do sinal está relacionada com uma resposta acústica mais intensa na parte central do costão, oriunda da exposição de um possível sedimento mais grosso (Figura 66B). Como no complexo praial Barra da Lagoa – Moçambique, este possível sedimento mais grosso adjacente a um sedimento mais fino, neste caso médio (PGGM, 2010), é associado a uma feição conhecida globalmente como *sorted bedforms*. Esta, como mencionado anteriormente, é caracterizada pela presença de uma depressão com sedimento grosso e mal selecionado composto por marcas onduladas, adjacente a um sedimento fino e bem selecionado, predominante.

A ocorrência desta feição demonstra que uma interação fluxo-batimetria é necessária para, ao menos, dar o início ao processo de ‘auto-organização’, descrito por Murray & Thieller (2004). Também reforça a hipótese de ser gerada por correntes ao longo da costa e o processo de ‘auto-organização’ como motivo de manutenção desta feição.

Outro padrão identificado foi o retorno acústico de maior intensidade, associado às rochas submersas que formam o promontório (Figura 66A e C). Estas foram registradas apenas nos extremos das linhas mais próximas ao costão, devido à segurança da embarcação.

Por último, o padrão acústico predominante, indicando a dominância de um sedimento mais fino, neste caso classificado como areia média, de acordo com PGGM (2010), em toda a plataforma continental interna ao longo do promontório (Figura 66).

Além da identificação dos diferentes padrões acústicos, foi identificada a presença de formas de leito, tanto na areia média predominante, na parte central e norte (Figura 66A e B), quanto no sedimento grosso, com reposta acústica mais intensa, na parte central (Figura 66B).

As marcas onduladas encontradas no sedimento grosso, se assemelham as encontradas no complexo praial Barra da Lagoa – Moçambique, porém apresentaram comprimento de onda menor, quando

comparadas. Seu comprimento de onda variou entre 0,40 e 0,70 m e foram classificadas como assimétricas sinuosas (Figura 67).

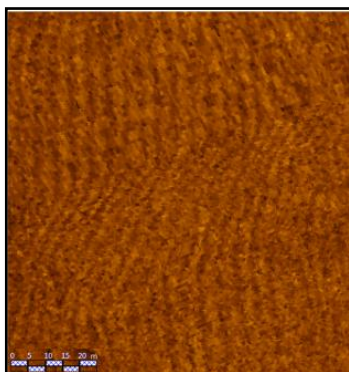


Figura 67: Formas de leito assimétricas sinuosas, dentro da depressão composta por areia grossa.

Já, as presentes no sedimento médio, tanto na parte norte (Figura 68A) quanto central (Figura 68B), foram classificadas como megaondulações assimétricas, catenárias, como na Ponta das Aranhas, e apresentaram comprimento de onda entre 5 – 12 m, perpendiculares a costa.

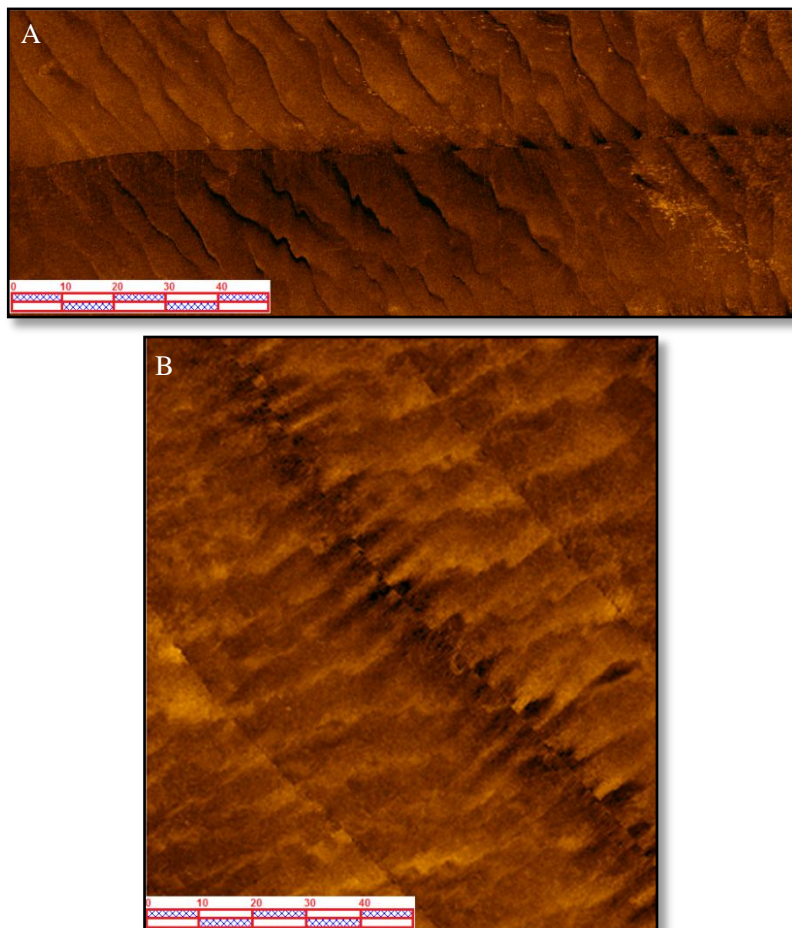


Figura 68: Megaondulações catenárias, perpendiculares a linha de costa. (A) Presentes na parte norte; (B) Presentes na parte central.

Novamente, de acordo com Lewis (1984), como no Ponta das Aranhas, correntes superiores a 0,4 m/s seriam necessárias para gerar estas feições, visto o tamanho do grão e o comprimento das formas de leito.

Pela característica da sombra das megaondulações, estas indicam a presença de correntes em sentidos opostos, indicando que as feições na parte central do promontório migram para norte, enquanto que as feições no norte migram para sul.



#### **5.4.1 – Retroespalhamento (*Backscatter*)**

Através das informações extraídas do retroespalhamento também foi observado a menor resposta acústica, ao sul do promontório, sendo reconhecida por manchas mais escuras ao sul do costão (Figura 69C), corroborando com as imagens de SVL.

Pelo fato da plataforma continental interna ser composta por areia média (PGGM, 2010), e estas manchas escuras terem apresentado a menor intensidade no retorno acústico, de toda área de estudo, acredita-se indicar um depósito de uma areia muito fina (COLLIER & BROWN, 2004; FONSECA & CALDER, 2005; WEBER, 2015), até então desconhecido.

A mesma informação serviu para associar a exposição do possível sedimento grosso (Figura 69B), adjacente a areia média, dominante na área. Também foi possível visualizar as megaondulações, classificadas como assimétricas, catenárias, perpendiculares a costa tanto na parte norte (Figura 69A) quanto central (Figura 69B), demonstrando como estas duas técnicas, combinadas, servem para inferir informações sobre a composição do leito bem como suas respectivas feições, indiretamente.

Também foi possível observar a resposta acústica mais intensa, oriunda das rochas submersas que compõem o promontório (Figura 69A e C), indicando então a maior densidade destas rochas se comparada com as areias média, fina e grossa, demonstrando então a maior impedância acústica de substrato consolidado se comparado com o substrato inconsolidado.

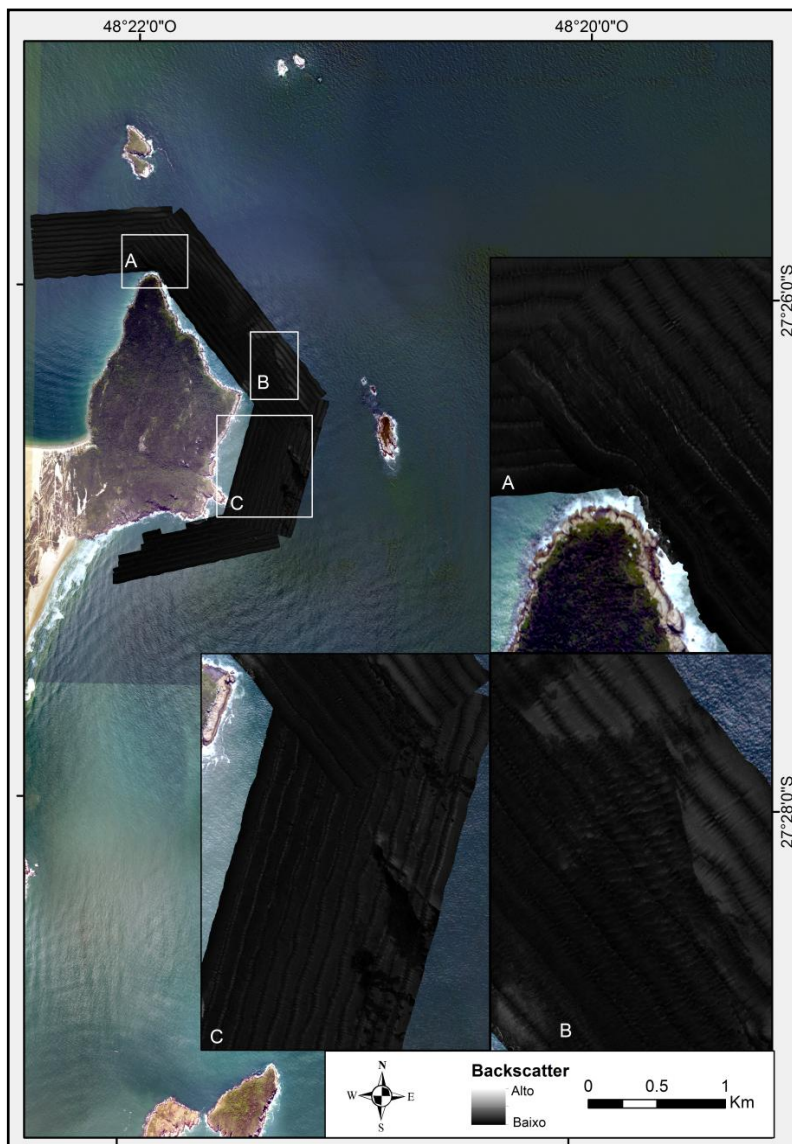


Figura 69: Retroespalhamento da plataforma continental interna da Ponta dos Ingleses indicando a heterogeneidade da mesma. (A) Megaondulações assimétricas catenárias na parte norte da plataforma continental interna da Ponta dos Ingleses; (B) Megaondulações assimétricas catenárias na parte central da plataforma continental da Ponta dos Ingleses e a feição SB; (C) Depósito de

sedimento fino ao sul do promontório. Onde alto reflete um retorno acústico mais intenso e baixo, um retorno acústico menos intenso. (Imagens Aéreas: Secretaria de Desenvolvimento Sustentável de Santa Catarina).

Assim, as imagens de SVL foram interpretadas e os diferentes padrões foram reconhecidos e atribuídos a diferentes tipos de sedimento, caracterizando uma plataforma continental interna heterogênea. Estes puderam ser validados com esta informação, oriunda do retroespalhamento, a qual caracteriza a intensidade do retorno do sinal acústico, comprovando a heterogeneidade da plataforma continental interna em frente ao promontório da Ponta dos Ingleses.

As informações extraídas do retroespalhamento (Figura 69) foram muito importante para a compreensão da composição da plataforma continental interna em frente à Ponta dos Ingleses, permitindo a associação dos diferentes tipos de refletores a suas respectivas classes, visto que não foi realizada amostragem direta.

#### **5.4.3 – Classificação imagens SVL**

Através das classificações supervisionada e não supervisionada das imagens de SVL para a plataforma continental interna em frente a da Ponta dos Ingleses (Figura 70), é possível observar a predominância da areia média (PGGM, 2010).

Também, como identificado nas imagens de SVL e no retroespalhamento, foi possível visualizar um depósito de sedimento fino ao sul (Figura 70). Este sedimento, provavelmente, deve estar na classe de areia muito fina, pelo fato do mesmo ter apresentado a menor resposta acústica de toda área de estudo, tanto nas imagens de SVL quanto no retroespalhamento.

Nas classificações supervisionada e não supervisionada, o mesmo não foi reconhecido como uma classe, isto pelo fato desta área apresentar 50% ou mais da coloração ‘preta’ ou uma resposta acústica menos intensa, característica de sedimentos finos, indicando então a presença de um sedimento mais fino.

Como na praia do Santinho, as sombras destas megaondulações apresentaram o mesmo comportamento, assim não foram classificadas como classe alguma.

Uma classe ainda não presente nas outras classificações e identificada nesta, foi presença de rochas submersas que compõem o promontório, estas apresentaram a resposta acústica mais intensa, e foi identificada tanto nas imagens de SVL quanto no retroespalhamento, sendo que algumas vezes esta classe foi confundida com o ruído/nadir

no processo de classificação (Figura 70). Também é possível visualizar a presença de ruído/nadir em ambas as classificações (Figura 70).

A outra resposta acústica, mais intensa, observada tanto nas imagens de SVL quanto no retroespalhamento, referente à exposição do possível sedimento grosso, caracterizando a feição *sorted bedform*, também foi identificada em ambas as classificações (Figura 70).

Estas, como nas classificações supervisionadas e não supervisionadas da plataforma continental interna e antepaia do complexo praial Barra da Lagoa – Moçambique reconheceram as classes areia grossa e areia fina, corroborando então com as imagens de SVL e com o retroespalhamento, caracterizando a ocorrência da feição *sorted bedform*.

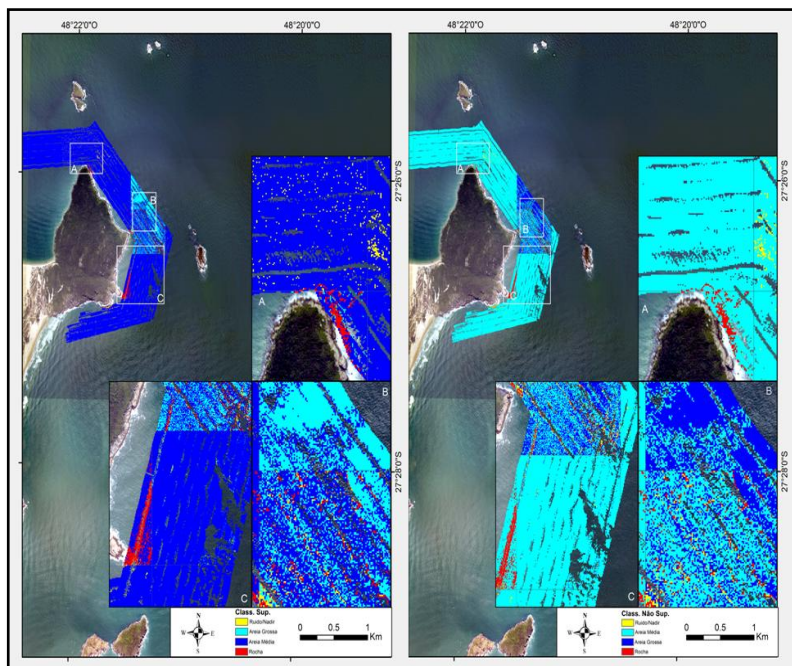


Figura 70: Classificação supervisionada e não supervisionada. (Imagens Aéreas: Secretaria de Desenvolvimento Sustentável de Santa Catarina).

#### 5.4.4 – Batimetria

Através da batimetria de detalhe (Figura 71), foi possível identificar a presenças das megaondulações assimétricas catenárias

visualizadas nas imagens de SVL, tanto na parte central como norte, orientadas perpendicular a costa.

Também foi possível mensurar a depressão (Figura 71B), associada à exposição do possível sedimento grosso, que variou entre 0,30 e 0,50 m, com resposta acústica mais intensa. A mesma feição identificada no complexo praial Barra da Lagoa – Moçambique, a qual tem como característica, uma depressão que varia de centímetros a metros, composta por areia grossa com a presença de marcas onduladas.

O local com a menor resposta acústica, sendo identificada tanto na imagem de SVL quanto no retroespalhamento, não apresentou diferença batimétrica (Figura 71C), acompanhando a batimetria e morfologia da área.

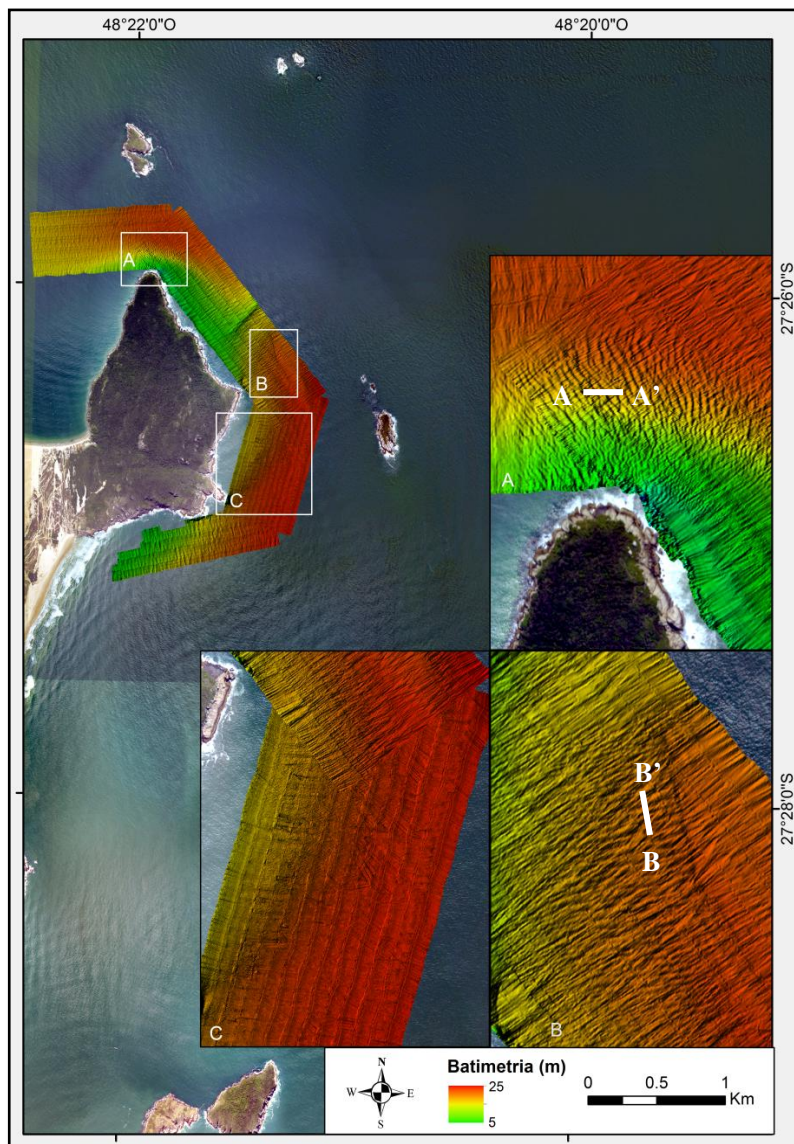


Figura 71: Batimetria de detalhe para plataforma continental interna da Ponta dos Ingleses indicando a heterogeneidade. (A) Megaondulações assimétricas catenárias na parte norte da plataforma continental interna da Ponta dos Ingleses; (B) Megaondulações assimétricas catenárias na parte central da plataforma continental interna da Ponta dos Ingleses e a depressão,

característica de feição SB; (C) Área associada à resposta com menor intensidade. (Imagens Aéreas: Secretaria de Desenvolvimento Sustentável de Santa Catarina).

O perfil das megaondulações (Figura 72) demonstra que estas apresentam sentidos opostos de migração, como já indicavam a sombra das mesmas nas imagens de SVL, visto que as megaondulações no norte do promontório apresentaram o ângulo mais íngreme para sul, enquanto que as megaondulações da parte central, para norte. A altura destas feições variou entre 0,5 e 1 m, sendo classificadas como megaondulações, e refletindo a presença de correntes de alta intensidade, em sentidos opostos.

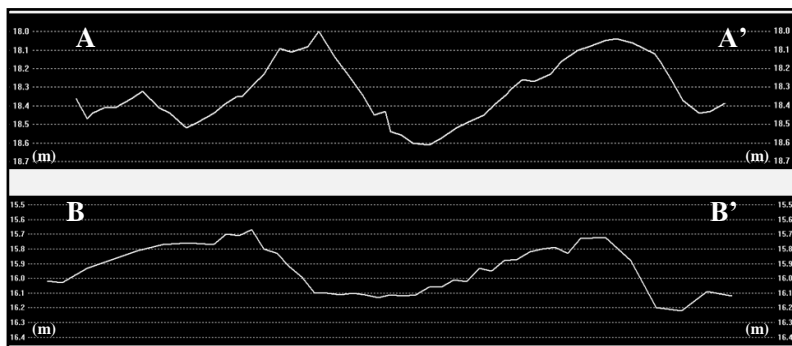


Figura 72: Perfil e altura das formas de leito assimétricas catenárias. (A) Na parte norte do promontório; (B) Na parte central do promontório.

A primeira questão levantada para explicar esta migração em sentidos opostos foi um mecanismo associado à difração da onda na ponta do promontório (Figura 73), o qual tende a gerar uma célula de circulação no sentido oposto ao da corrente predominante (EVANS, 1948).



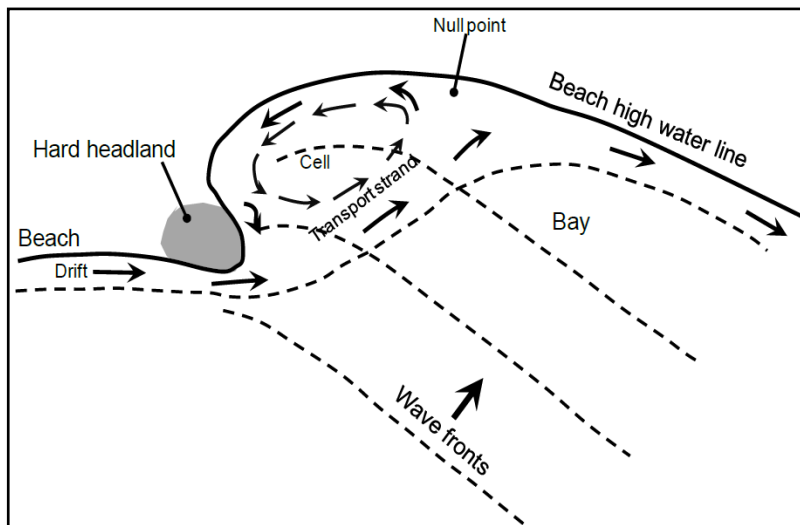


Figura 73: Corrente gerada no sentido oposto pela difração da onda na ponta do promontório. Modificado de Evans, 1948.

Em princípio, esta hipótese foi levada em consideração, porém quando analisado a altura destas feições, que variou entre 0,5 e 1 m, tanto no norte quanto na parte central, e levando em consideração a granulometria, areia média (PGGM, 2010), viu-se que uma corrente de grande intensidade, acima de 0,4 m/s seria necessária para gerar estas megaondulações (LEWIS, 1984), e esta gerada pela difração da onda, provavelmente não teria uma capacidade de transporte suficiente para gerar feições desta dimensão.

Assim, outra hipótese, levantada por Vieira da Silva *et al.* (2015) (em preparo), é que, pela configuração geográfica da Ponta dos Ingleses se apresentar mais a oeste, a parte norte do promontório estaria ‘protegida’ da corrente para norte, mais intensa, identificada por Porpilho *et al.* (2015). Logo, esta corrente mais intensa, influenciaria apenas a parte sul e central, sendo a causa para migração destas megaondulações, de sul para norte.

Também, pela sua configuração geográfica, a parte norte do promontório, estaria susceptível a atuação de uma corrente para sul, talvez gerada pela maré e/ou vento. Esta corrente, sim, poderia atingir a magnitude necessária para gerar o transporte de sedimento por tração, e consequentemente gerar estas megaondulações, que migram de O/SO para E/NE.



Diferente do observado na Ponta das Aranhas, onde as formas de leito indicaram uma transposição de sedimento ao longo do promontório (*sediment bypass*), neste caso, observa-se um possível acúmulo de sedimento. Assim, ocorreria uma convergência entre as correntes na parte central do promontório, gerando uma deposição de sedimento.

Uma feição morfológica interessante encontrada através da batimetria de detalhe, que permitiu esta associação, ou seja, o acúmulo de sedimento na parte central do costão, foi um perfil paralelo à linha de costa (Figura 74).

Através deste (Figura 74), observou-se que a profundidade variou de 20 m em P e P', para 10 m, na parte central. Este acúmulo de sedimento foi então classificado como *shelf sand body*, de acordo com ROY *et al.* (1997).

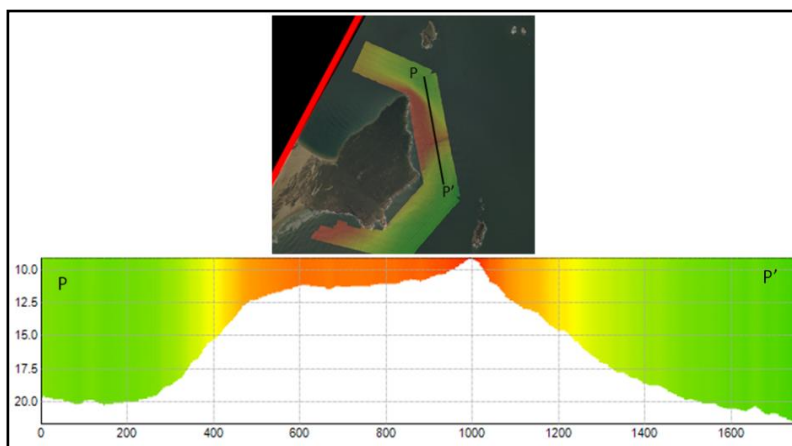


Figura 74: Perfil paralelo à linha de costa demonstrado o acúmulo de sedimento, na parte central do promontório. Este acúmulo apresenta o formato de uma megaondulação, com assimetria para sul (P-P').

Levando em consideração a forma desta feição, *shelf sand body* (ROY *et al.*, 1997), acredita-se que esta corrente para sul seja mais intensa que a corrente para norte, já identificada por Porpilho *et al.* (2015), somente até a parte central do promontório, onde ocorre a possível convergência entre as correntes e consequentemente a deposição de sedimento.

Isto, pelo fato desta feição, *shelf sand body* ter o formato de uma megaondulação de grande proporção, e esta megaondulação

apresentou o ângulo mais íngreme para sul (Figura 74), indicando assim a corrente mais intensa nesta área.

Pois, de acordo com Porpilho *et al.* (2015), as megaondulação refletem a corrente mais intensa ao invés da predominante, pelo fato da corrente mais intensa apresentar maior capacidade de transporte das partículas de sedimento por tração.

Também, foi mensurado a altura das marcas onduladas presentes na depressão, possivelmente composta por areia grossa, sendo que estas apresentaram altura entre 0,15 e 0,30 m, sendo menores que as encontradas no complexo praial Barra da Lagoa – Moçambique.

Outra informação derivada da batimetria de detalhe foi à declividade (Figura 75), esta apresentou uma média de 1,3°.

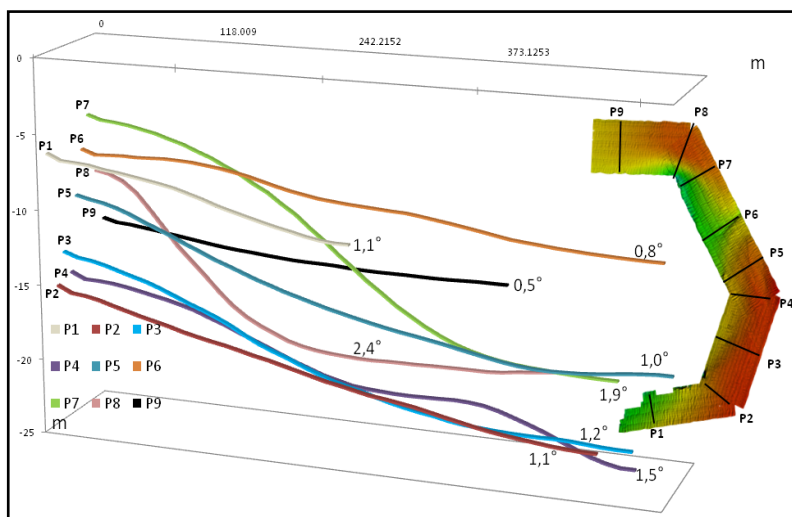


Figura 75: Perfis perpendiculares à linha de costa e suas respectivas declividades

A partir de P1 (ao sul) até o começo da parte central (P4) a declividade aumentou de 1,1° até 1,5°. A partir de P5, com 1,2°, onde acredita-se que o sedimento passa a se acumular, esta diminui até P6, com 0,8°, onde possivelmente ocorre a convergência das correntes, resultando no acúmulo de sedimento, sendo classificado então como *shelf sand body* (ROY *et al.*, 1997) (Figura 74).

Em P7 e P8 a declividade passa a aumentar significativamente 1,9° e 2,4°, respectivamente, diminuindo novamente em P9, 0,5°.

indicando um menor grau de exposição desta área, sendo a menor declividade encontrada para toda área de estudo.

A alta declividade encontrada tanto em P4 e P5 quanto em P7 e P8, indica a ação intensa das correntes em sentidos opostos, gerando as megaondulações e retirando o sedimento destas áreas, caracterizando um transporte por tração. E na possível convergência destas, ocorrendo o acúmulo de sedimento.

Como no caso da Ponta das Aranhas, estas correntes devem ser intensificadas pela constrição entre as Ilhas e o promontório (Figura 71), aumentando significativamente a magnitude destas, justificando a dimensão das formas de leito e desta alta declividade.

#### 5.4.5 - Modelo Digital Batimétrico (3D)

O modelo digital batimétrico gerado para a Ponta dos Ingleses (Figura 76) visa demonstrar as maiores declividades encontradas tanto na parte sul quanto norte (Figura 77), refletindo a atuação das correntes, possivelmente intensificadas pela constrição entre o promontório e as Ilhas (Figura 71), bem como a feição identificada como *shelf sand body* (ROY *et al.*, 1997) (Figura 76 e Figura 77).

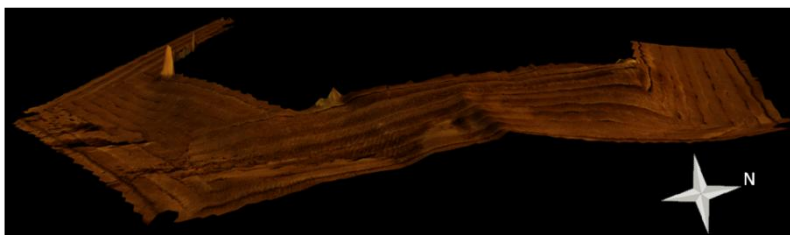


Figura 76: Modelo digital batimétrico para a plataforma continental interna da Ponta dos Ingleses, demonstrando a feição *shelf sand body*.

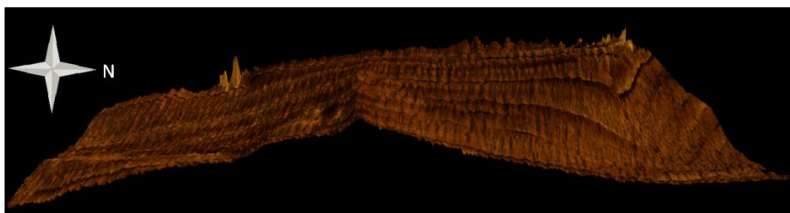


Figura 77: Modelo digital batimétrico para a plataforma continental interna da Ponta dos Ingleses, demonstrando a feição *shelf sand body* e as maiores declividades, tanto na parte central quanto norte.

Além da feição *shelf sand body* (ROY *et al.*, 1997) e da declividade, optou-se por demonstrar as megaondulações presentes tanto na parte central (Figura 78) quanto norte (Figura 79), bem como a depressão, possivelmente composta por areia grossa com a presença de marcas onduladas, característica da feição *sorted bedforms* (Figura 78).

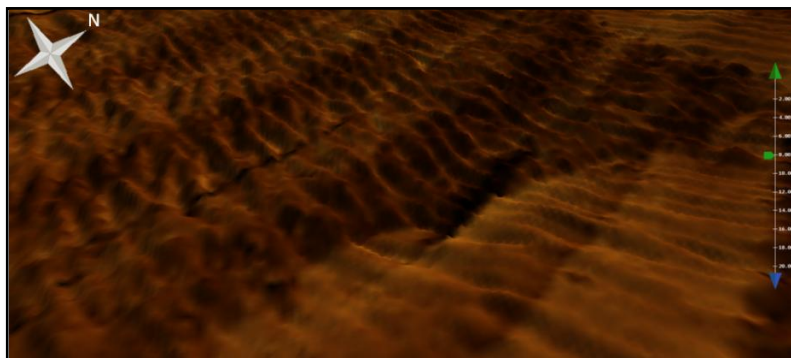


Figura 78: Modelo digital batimétrico para a plataforma continental interna da Ponta dos Ingleses, demonstrando as *megaondulações* na parte central, bem como a depressão característica da feição SB.

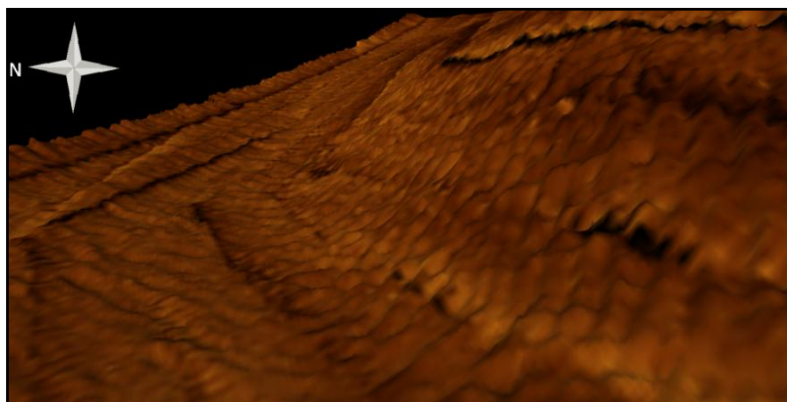


Figura 79: Modelo digital batimétrico para a plataforma continental interna da Ponta dos Ingleses, demonstrando as *megaondulações* na parte norte.

#### 5.4.6 – Considerações Gerais

Através dos dados geoacústicos e das classificações supervisionadas e não supervisionadas é possível afirmar a composição heterogênea da plataforma continental interna em frente à Ponta dos Ingleses, indiretamente. Esta é formada por substrato consolidado e inconsolidado, sendo composta de areia fina a grossa, com predominância da areia média (PGGM, 2010), além da presença de rochas submersas.

Esta afirmação é possível em função da combinação das imagens de SVL com os dados de retroespalhamento, bem como com a comparação com as classificações supervisionada e não supervisionada, sendo que estas apresentaram resultados muito semelhantes.

As megaondulações tanto na parte central quanto norte, refletem a atuação de intensas correntes unidirecionais, caracterizando um transporte por tração, como na Ponta dos Ingleses.

Porém, ao contrario da Ponta das Aranhas, as megaondulações não indicam uma transposição de sedimento ao longo do costão, ao invés disso, demonstram uma possível convergência entre correntes com sentidos opostos, gerando um acúmulo de sedimento. A forma do acúmulo de areia indica uma maior intensidade da corrente para sul, visto que este acúmulo de areia apresentou o ângulo mais íngreme nesta direção, bem como a corrente para norte, mais intensa na parte sul do promontório.

As classificações supervisionada e não supervisionada para a plataforma continental interna da Ponta dos Ingleses reconheceu todas as classes propostas, com exceção do depósito de areia fina, que apresentou a menor intensidade na resposta acústica. O motivo do não reconhecimento por parte do classificador, o SonarClass, foi em função do mesmo desconsiderar áreas que apresentem 50 % ou mais nas cores preta e branca, mesmo motivo para não reconhecer a sombra das megaondulações. Tirando esta limitação o classificador apresentou um ótimo resultado, em ambas as classificações, se comparado com outros métodos de classificação disponíveis.

A declividade, como na Ponta das Aranhas, indicou a maior exposição à atuação das correntes, tanto na parte sul quanto norte, intensificadas pela constrição entre as Ilhas e o promontório, sendo estas correntes responsáveis por gerar o transporte por tração, em consequência as megaondulações, o acúmulo de sedimento e consequentemente a feição *shoreface sand body*.

Outro fato que deve ser mencionado é o alto ruído encontrado tanto nas extremidades do feixe quanto no nadir. Este ruído é oriundo da

alta taxa amostral oriundo da técnica interferométrica, bem como da alta intensidade do retorno do sinal no nadir, em função deste ser um ângulo reto, próximo a 90° graus. Enquanto que nas extremidades, pelo fato do compensador não corrigir totalmente os movimentos da embarcação, estes também se apresentaram críticos.

Também, é importante mencionar a observação realizada por Short (1999), o qual citou que com os avanços da tecnologia, as feições previamente identificadas através de mergulho e ilustrações, poderiam ser validadas utilizando os métodos geoacústicos, revelando então a eficiência e a importância desta técnica.

De acordo com os resultados alcançados, comprova-se a eficiência dos métodos geoacústicos empregados na investigação de ambientes submersos. Neste estudo, principalmente, notou-se como a interferometria forneceu subsídios para caracterização morfológica e sonográfica da plataforma continental interna e antepraia, indiretamente.

## 6 – CONCLUSÕES

Foram identificadas diferentes feições presentes na área de estudo, como, *Sorted Bedforms* (SB) e *Shoreface Sand Body* (SSB). Também, diferentes formas de leito, entre elas, marcas onduladas simétricas, assimétricas sinuosas e lunares e as megaondulações assimétricas catenárias.

Marcas onduladas simétricas foram identificadas apenas no Santinho, associadas ao início da sequência de formas de leito, indicando o aumento da interação do leito com a assimetria do movimento orbital da onda, a medida que diminui a profundidade. Estas feições também indicam a possível profundidade de fechamento desta área frente às condições meteoceanográficas encontradas durante o L.H..

Marcas onduladas assimétricas sinuosas foram visualizadas tanto no complexo praiar Barra da Lagoa – Moçambique quanto no Santinho e na Ponta dos Ingleses. No complexo praiar esta estava presente tanto no sedimento grosso (1 mm) quanto no sedimento fino (0,2 mm). No santinho, a mesma foi identificada após as marcas onduladas simétricas, indicando uma maior assimetria no movimento orbital da onda. Já na Ponta dos Ingleses estas marcas onduladas foram identificadas no sedimento mais grosso, na parte central do canal.

As marcas onduladas lunares, foram identificadas apenas no Santinho, e refletem então a interação mais intensa do leito com a assimetria do movimento orbital, sendo esta feição a última da sequência de formas de leito identificada, ocorrendo até o ponto de quebra da onda ou muito próximo, onde o leito passa ser plano.

Por último, as megaondulações catenárias, identificadas tanto na Ponta das Aranhas quanto na Ponta dos Ingleses. Estas indicam a presença de correntes de alta intensidade, caracterizando uma transposição sedimentar na Ponta das Aranhas, e uma convergência na Ponta dos Ingleses, sendo esta convergência entre correntes a razão da formação da feição SSB, identificada na plataforma continental interna de ambos os promontórios.

Além das feições e formas de leito, foi possível extrair informações indiretas sobre a composição do leito, possibilitando a identificação da presença de diferentes tipos de refletores, associados a diferentes tipos de sedimento e substrato, visto que estes apresentaram resposta acústica distintas em função de suas respectivas impedâncias acústicas, caracterizados pela intensidade do retorno do sinal, tanto nas imagens de SVL quanto no retroespalhamento

Informações sobre a composição do leito foram validadas com amostragem direta apenas no complexo praiar Barra da Lagoa –

Moçambique, onde foi comprovada a presença de areia grossa (1 mm) e areia fina (0,2 mm), previamente identificada nas imagens de SVL e no retroespalhamento, através da diferença de contraste, e também nas classificações supervisionada e não supervisionada das imagens de SVL.

No restante da área de estudo, a classificação da composição do leito foi realizada em função das imagens de SVL, sendo sua veracidade constatada utilizando o retroespalhamento e as classificações supervisionada e não supervisionada, sem a realização de amostragem direta.

Assim, levando em consideração os resultados encontrados e o comparando com o trabalho realizado no sul da Ilha de Florianópolis, em Naufragados, onde Souza & Correa (2006) também identificaram a presença de feições conhecidas como RSD ou SB, levanta-se a hipótese deste sedimento grosso estar sob a camada de areia fina e predominante, ao menos, em todo o setor leste da Ilha de Santa Catarina, podendo indicar uma mudança no aporte sedimentar ao longo dos últimos milhares de anos.

Ressalta-se também a importância da comparação entre as imagens de SVL com os dados de retroespalhamento, sendo ainda complementados pelas classificações supervisionada e não supervisionada, inferindo uma maior confiabilidade na classificação indireta do leito marinho, permitindo a caracterização do habitat, comprovando então a classificação realizada através das imagens de SVL.

A coleta de sedimento, também foi utilizada para validação dos resultados geoacústicos, sendo a maneira mais exata de validação, porém na falta desta, os métodos indiretos, como imagens de SVL, retroespalhamento e classificações supervisionada e não supervisionada, se mostraram bastante eficientes.

O SonarClass, mesmo apresentando algumas limitações, principalmente relacionado com o ruído/nadir e com as áreas escuras, se mostrou eficiente quando aplicado corretamente, levando em consideração outros programas disponíveis que exercem a mesma função.

A batimetria de varredura também demonstrou ser uma ferramenta de grande importância, visto que através desta foi possível quantificar as depressões associadas à feição *sorted bedforms*, identificar a presença da feição *shelf sand body* bem como extrair o perfil das formas de leito, e também a declividade da plataforma continental interna.



O estudo da plataforma continental interna e antepaia adjacente ao setor leste da Ilha de Santa Catarina, indicou a presença de correntes bidirecionais, norte e sul, sendo estas identificadas através das formas de leito e feições presentes na área de estudo. Assim, comprava-se que a forma e a dimensão das feições refletem a direção e a intensidade de seus processos formadores (ASHLEY, 1990), relacionadas com o tamanho de grão (LEWIS, 1984).

Levando em consideração a utilização da interferometria, uma técnica pioneira na exploração de ambientes submersos, os resultados encontrados foram considerados de grande valia no que tange o aumento de informações sobre uma área carente, a plataforma continental interna e antepaia. Através do interferômetro foi possível a análise de três tipos de dados, sendo dois relacionados à intensidade do retorno do sinal acústico, as imagens de SVL e o retroespalhamento, e outro relacionado com o tempo de ida e volta do sinal, fornecendo informações sobre profundidade e morfologia em duas e três dimensões.

Visto a alta dinâmica desta área, e a limitação da configuração do compensador de movimentos (*MRU*), é necessário mencionar que existem artefatos gerados pelo movimento da embarcação, sendo o mais crítico neste L.H., o *roll*. Este se apresentou mais crítico em função da direção de navegação e conseqüentemente, a aquisição de dados, paralelo à linha de costa. Esta foi realizada neste sentido com o intuito de melhor registrar as formas de leito, porém, ondas e o vento predominaram perpendiculares à costa, muitas vezes induzindo o movimento da embarcação, o qual não foi totalmente corrigido pelo sensor.

## 7 - REFERÊNCIAS

ARAUJO, C.E.S.; FRANCO, D.; MELO, E.; PIMENTA, E. Wave Regime Characteristics of the Southern Brazilian Coast. In: Proceedings of the Sixth International Conference on Coastal and Port Engineering in Developing Countries, COPEDEC VI, Colombo, Sri Lanka, Paper. 2003. p. 15.

ASHLEY, G.M. "Classification of Large-Scale Subaqueous Bedforms: A New Look at an Old Problem," SEPM Bedforms and Bedding Structures Symposium, Austin – Texas, 13p. 1990.

ATHERTON, M.W. Echoes and Images, The encyclopedia of side scan and scanning sonar operations. 2011.

BAGNOLD, R. A. "An Approach to the Sediment Transport Problem for General Physics," *Geological Survey Professional Paper 422-1*, Washington, D.C. 1966.

BAGNOLD, R. A. The Nature of Saltation and of Bed-Load Transport in Water. *Proc Royal Soc*, London, England, A 332, 1973.

BALSON, P. S. & COLLINS, M. B. *Coastal and Shelf Sediment Transport*. Geological Society of London, Special Publications, 274 p. 2007.

BLONDEL P. The Handbook of Side Scan Sonar. Springer. 316 p. 2006.

BRISSON, L.N & WOLFE, D. Performance analysis of the edgetech 6205 swath bathimetric sonar. 2014.

CACCHIONE D.A.; DRAKE D.E.; GRANT W.D.; TATE, G.B; Rippled scour depressions on the inner continental-shelf off central California. *J Sediment Petrol* 54:1280–1291. 1984.

CLIFTON, H.E.; HUNTER, R.E.; PHILLIPS, R.L. Depositional structures and processes in the non-barred high energy nearshore. *Journal of Sedimentary Petrology*, 41, 651-670. 1971.

COLLIER, J. S. & BROWN, C. J. Correlation of side scan backscatter with grain size distribution of surficial seabed sediments. *Marine Geology*, 214, 431-449. 2005.

COLLINS, M.B. & BALSON, P.S. Coastal and Shelf Sediment Transport. Geological Society of London, Special Publications, 274. 2007.

DAVIDSON-ARNOTT, R.G.D.; GRENNWOOD, B. Bedforms and structures associated with bar topography in the shallow water wave environment, Kouchibouguac Bay, New Brunswick, Canada. *Journal of Sedimentary Petrology*, 44, 698-704. 1974.

DEAN, R.G., & DALRYMPIE, R.A. *Water Wave Mechanics for Engineers and Scientists*, World Sci., Singapore, 1984.

DEAN, R.G. & DALRYMPLE, R.A. "Coastal Processes". Cambridge University Press, 475 p. 2002.

DYER, K.R. & SOULSBY, R.L. Sand transport on the continental shelf. *Ann. Rev. Fluid Mech.* (20), 295–324 p. 1988.

EDGE TECH 4600 Product Description, rev. 1.2.6, novembro/2011.

FAKIRIS E., PAPATHEODOROU G. Calibration of textural analysis parameters towards a valid sidescan sonar imagery segmentation technique. 2<sup>nd</sup> international conference on Underwater Acoustic Measurements, Crete, Proceedings, Vol. III, 1253-1264. 2007.

FAKIRIS E. & PAPATHEODOROU G. SonarClass: A MATLAB toolbox for the classification of side scan sonar imagery, using local textural and reverberational characteristics. 3rd International Conference & Exhibition on "Underwater Acoustic Measurements ": Technologies and Results (UAM 2009), Proceedings, Volume III, 1445-1450. 2009.

FERLAND, M.A. Shelf sand bodies in Southeastern Australia. University of Sydney, Sydney, Australia. Tese de Doutorado, 527p. 1990.

FLOOD, R.D. Deep-sea sedimentary morphology: Modeling and interpretation of echo-soundig profiles. 1980.

FONSECA, L. & CALDER B. GEOCODER: An efficient backscatter map constructor. Proceedings of the U.S. Hydrigraphic Conference—San Diego, 2005.

FRIEDMAN, G.M.; SANDERS, J.E. & KOPASKA-MERKEL, D.C. Principles of Sedimentary Deposits: Stratigraphy and Sedimentology. New York: Macmillan 717p. 1992.

GARDNER, J.V.; GARDNER, P.B.; MAYER, L.A.. Mapping U.S. continental shelves. Sea Technol., 10-17p. 1998.

GODIN, G. The analysis of tides. University of Toronto Press, 264 p. 1972.

GRÉ, J.C.R. Aspectos Sedimentares da Plataforma Continental de Santa Catarina. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-graduação em Geociências, UFRGS, Porto Alegre, Brasil. 1983.

HAMILL, L. Understanding Hydraulics. 2ed. Palgrave Macmillan: Nova York, 608p. 2001.

HARALICK, R. M. Statistical and structural approaches to texture. Proceedings, IEEE. 67(5) 786-804. 1979.

HARRIS, P.T. & BACKER, E.K. Seafloor Geomorphology as Benthic Habitat, 1st Edition. 2011.

IHO. IHO Standards for Hydrographic Surveys 4 Edition. International Hydrographic Organization Special Publication 44. International Administration Bureau, Monaco. 7p, 1998.

IMCA. Diretrizes de uso de Ecobatímetros Multifeixe em Levantamentos Offshore, 2006.

KLEIN, A.H.F. Morphodynamics of headland bay beaches: Examples from the coast of Santa Catarina State, Brazil. Tese - Universidade do Algarve, Faro, 2004.

LI, M.Z.; WRIGHT, L.D.; AMOS, C.L. Predicting ripple roughness and sand resuspension under combined flows in a shoreface environment, Marine Geology, 130, 139-161. 1996.

LISA NICOLE BRISSON & DAMON WOLFE – 2014 Performance analysis of the edgetech 6205 swath bathymetric sonar, 2014.

LIORT-PUJOL, G.; SINTES, C.; CHONAVEL, T.; MORRISON, A.T.; D., SYLVIE. Advanced interferometric techniques for high-resolution bathymetry, 2012.

MASSELINK, G. & HEGGE, B.J. Morphodynamics of meso and Microtidal beaches, examples from central Queensland. Marine Geology, 129, 1-23p. 1995.

MEDWIN, H. & CLAY, C. S. Fundamental of acoustical oceanography. Academic Press, 712 p., 1998.

MONTEIRO, M.A. Avaliação das condições atmosféricas de Florianópolis para controle da qualidade do ar. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Curso de Graduação em Geografia, UFSC, Florianópolis. 1992.

MURRAY A.B. & THIELER E.R. A new hypothesis and exploratory model for the formation of large-scale inner-shelf sediment sorting and “rippled scour depressions”. Cont Shelf Res 24:295–315. 2004.

NIELSEN, P. Coastal Bottom Boundary Layers and Sediment Transport: Advanced Series on Ocean Engineering vol 4. World Scientific: Singapura. 324p. 1992.

PRANZIN, E. & LORENZO, R. 2013. *In*: PRANZIN & LORENZO, 2013, L. E. Coastal erosion monitoring. Res Mar Project, 2013.

PGGM – Programa de Geologia e Geofísica Marinha. 2010. Lavantamento Geológico e Sísmico da Plataforma Continental Interna dos Estados do RS, SC e PR com ênfase nos Depósitos Granulados (Siliciclásticos, Bioclásticos e Minerais Pesados): Plataforma Continental Interna Adjacente à Ilha de Santa Catarina. REMPLAC: 2 Relatório Preliminar. UNIVALI, UFSC. 31p

PORPILHO, D.; KLEIN, A.H.F.; de CAMARGO, R.S.V.; PRADO., M.F.V.; BONETTI, J.; SHORT, A.D.; FAKIRIS, E. Automatic classification of bedforms using phase differencing bathymetric sonar.

in: Underwater Acoustics International Conference and Exhibition, 2nd edition, Rhodes. Proceedings... Rhodes. 505-510p. 2014.

PORPILHO, D.; KLEIN, A.H.F.; DE CAMARGO, R.S.V.; PRADO, M.F.V.; SHORT, A.D.; VIEIRA DA SILVA, G., AND TOLDO JR., E.E. Bedform Classification in Front of Santinho Headland, Santinho Beach - Santa Catarina Island, Brazil. Proceedings of Coastal Sediments'15 (San Diego - CA, USA), 10p. 2015.

QUINN, R. The role of scour in shipwreck site formation processes and the preservation of wreck-associated scour signatures in the sedimentary record— evidence from seabed and sub-surface data. *Journal of Archeological Science* 33, 1419–1432p. 2006.

RAINEAULT, N.A.; TREMBANIS, A.C.; MILLER, D.C.; CAPONE, V. Interannual changes in seafloor surficial geology at an artificial reef site on the inner continental shelf. *Continental Shelf Research* (58) 67–78p. 2013.

REINECK, H.E. & SINGH, I.B. *Depositional Sedimentary Environments*. Springer, Berlin. 439 p. 1975.

ROY, P.S., COWELL, P.J., FERLAND, M.A & THOM, B.G. Wave-dominated coasts. In: CARTER, R.W.G. & WOODROFFE, C.D. *Coastal Evolution: Late Quaternary Shoreline Morphodynamics*. Cambridge University Press, Cambridge. 121-186p. 1997.

SILVA, P.G. “Exposição à inundação costeira nas praias dos Ingleses, Moçambique e Barra da Lagoa, Florianópolis, SC. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 101p. 2010.

SOULSBY, R. *Dynamics of Marine Sands: a manual for practical applications*, Londres, 249p. 1997.

SOULSBY, R.L. & DAMGAARD, J.S. Bedload sediment transport in coastal waters. *Coastal Engineering* 52 (8), 673-689p. 2005.

SOUZA, J.A.G. de; CORRÊA, I.C.S. Feições sedimentares presentes na plataforma continental interna da enseada do Pântano do Sul, ilha de Santa Catarina, SC – Resultados preliminares. In: SEMANA

ACADÊMICA DOS ALUNOS DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS, 1., 2006, Porto Alegre. **Resumos...** Porto Alegre: UFRGS. 129-132p. 2006.

SOUZA, L.A.P. Revisão crítica da aplicabilidade dos métodos geofísicos na investigação de áreas submersas. Tese de Doutorado – Instituto Oceanográfico -Universidade de São Paulo, 2006.

SCHETTINI, C.A.F. Caracterização física do estuário do rio Itajaí-Açu. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. 7(1) 123-142p. 2002.

SHORT, A.D. Sediments and structures in beach-nearshore environments, southeast Australia. In: Mclachlan, A. and Erasmus, T. Sandy beaches and ecosystems. Junk, The Hague, 145-155p. 1983.

SHORT, A.D. Handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics. England: John Wiley & Sons Ltd. 1999.

The GLCM tutorial. <Disponível em: <http://www.fp.ucalgary.ca/mhallbey/tutorial.htm>. Acesso em: 25 de fevereiro de 2014>.

TREMBANIS, A.C.; NEBEL, S.; SKARKE, A.; COLEMAN, D.E.; BALLARD, R.D.; YANKOVSKY, A.; BUYNEVICH, I.V.; VORONOV, S. Bedforms, coastal-trapped waves, and scour process observations from the continental shelf of the northern Black Sea. Geological Society of America Special Papers 473, 165–178p. 2011.

TRUCCOLLO, E.C. Maré meteorológica e forçantes atmosféricas locais em São Francisco do Sul – SC. 100p. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Ambiental, UFSC. Florianópolis, 1998.

TRUCCOLO, E.C.; FRANCO, D.; SCHETTINI, C.A.F. The low frequency sea level oscillations in the northern coast of Santa Catarina, Brazil. Journal of Coastal Research, v.39. 2006.

URICK, R.J. Principles of underwater sound. McGraw-Hill, New York. 423p. 1983.

VAN MEENE, J.W.H. Modeling the morphodynamics of shoreface connected sand ridges. 2008.

VAN RIJN, L.C. Sediment transport: Part I: Bed load transport; Journal of Hydraulic Division. vol.110 (10), 1431–56p. 1984 (a).

VAN RIJN, L.C. Sediment transport: Part II: Suspended load transport. Journal of Hydraulic Division vol. 110 (11) 1613–41p. 1984 (b).

VAN RIJN, L.C. Principles of sediment transport in rivers, estuaries and coastal seas. Aqua Publications: Amsterdam, Holanda. 1993.

VAN RIJN, L.C. Principles of coastal morphology. Aqua Publications: Amsterdam, Holanda. 1998.

VAN RIJN, L. C. “Unified View of Sediment Transport by Currents and Waves. I Initiation of Motion, Bed Roughness, and Bed-Load Transport,” Journal of Hydraulic Division, ASCE, Vol. 133, No. 6, 649-667p. 2007.

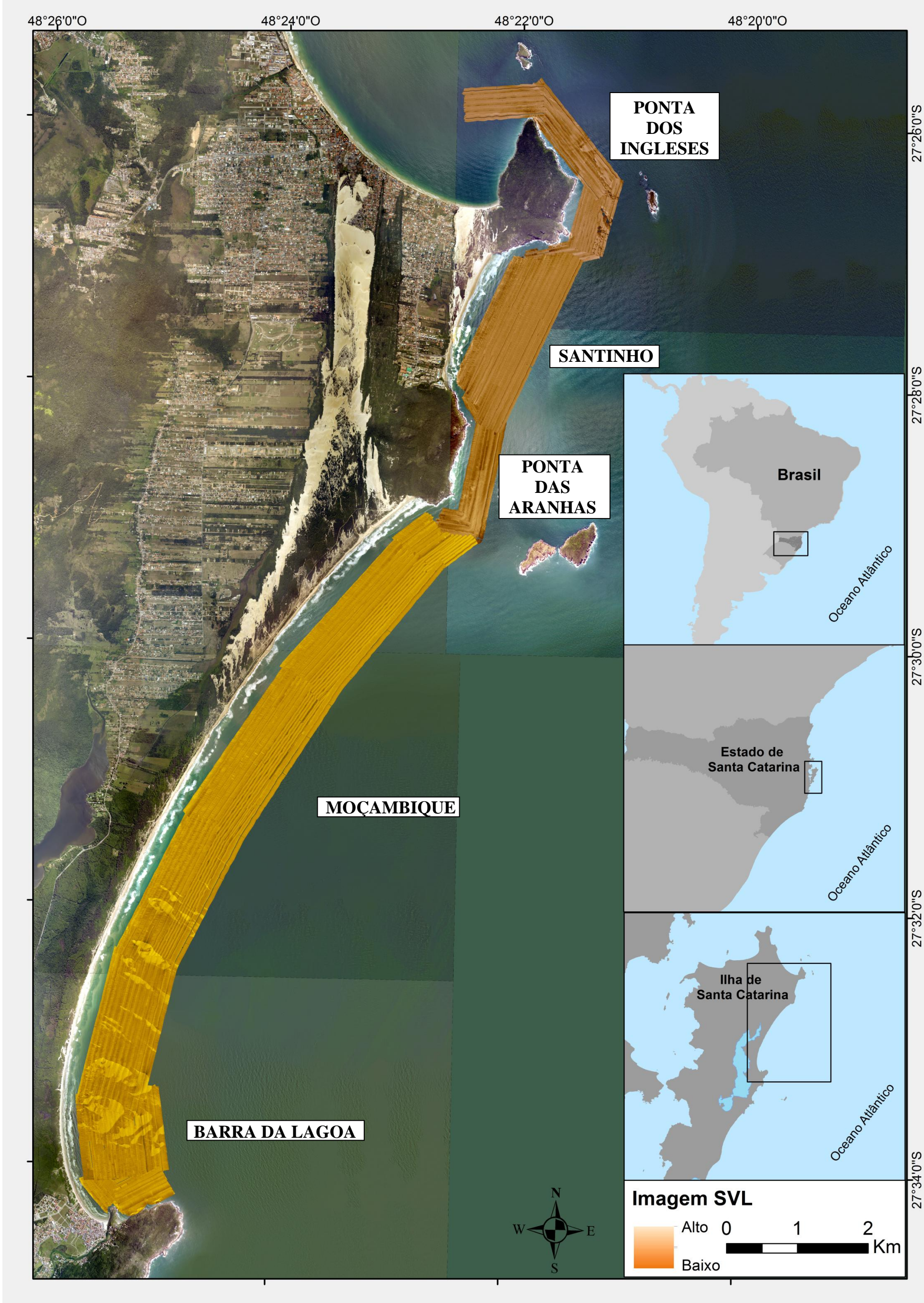
WRIGHT, L.D.; GUZA, R.T. & SHORT, A.D. Dynamics of a high energy dissipative surf zone. Mar. Geol., 45 ( 12) 41-62p. 1982.

WRIGHT, L.D.; NIELSEN, P.; SHI, N.C.; LIST, J.H. Morphodynamics of a bar-trough surf zone. Marine Geology, 70. 251-285p. 1986.

WRIGHT, L.D. Morphodynamics of inner continental shelves. CRC Press. Boca Raton, Florida. 1995.



8 – ANEXOS  
8.1 – MAPA SONOGRÁFICO DA ÁREA DE ESTUDO





8.2 – MAPA BATIMÉTRICO DA ÁREA DE ESTUDO

